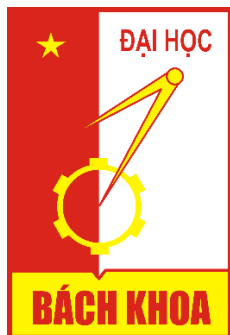


**ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI**  
**TRƯỜNG ĐIỆN – ĐIỆN TỬ**



**ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP**

**Thiết kế ổ cắm điện thông minh sử dụng  
công nghệ truyền thông Wifi**

**DƯƠNG VĂN DŨNG**

Dung.dv210234@sis.hust.edu.vn

**Ngành Kỹ thuật Điều khiển và Tự động hóa**

**Giảng viên hướng dẫn:** PGS. TS. Nguyễn Quốc Cường \_\_\_\_\_  
Chữ ký của GVHD

**Khoa:** Tự động hóa  
**Trường:** Điện – Điện tử  
**HÀ NỘI, 1/2025**

**NHIỆM VỤ**  
**ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP**

Họ và tên: **Dương Văn Dũng** Mã số sinh viên: **20210234**

Khóa: **66**

Trường: **Điện- Điện tử**

Ngành: **KT ĐK & TĐH**

*1. Tên đề tài:*

Thiết kế ổ cắm điện thông minh sử dụng công nghệ truyền thông Wifi.

*2. Nội dung đề tài:*

Thiết kế ổ cắm điện thông minh đo các thông số điện như cường độ dòng điện, điện áp, công suất tiêu thụ. Lấy mẫu tín hiệu với tần số 10kHz trở lên. Có kết nối mạng, lưu trữ dữ liệu và truyền thông dữ liệu sử dụng công nghệ Wifi. Các tính năng như điều khiển từ xa, hẹn giờ và đóng vò cho thiết bị. Thiết bị có giao diện giám sát và điều khiển trên Web hoặc App

Các công việc thiết kế bao gồm:

- Thiết kế mạch nguyên lý, mạch in và đóng vò cho thiết bị.
- Phát triển phần mềm cho thiết bị.
- Lập trình và phát triển giao diện giám sát trên nền tảng Iot Platform.
- Đo kiểm và đánh giá sai số cho thiết bị.

*3. Thời gian giao đề tài: 20/09/2024*

*4. Thời gian hoàn thành: 20/1/2025*

*Ngày..... tháng ..... năm 2025*

**CÁN BỘ HƯỚNG DẪN**

### **Lời cảm ơn**

Trong quá trình thực hiện đồ án tốt nghiệp, em đã nhận được rất nhiều sự quan tâm, động viên và hỗ trợ từ gia đình, các thầy cô, anh chị và bạn bè.

Em xin gửi lời cảm ơn sâu sắc đến thầy PGS.TS. Nguyễn Quốc Cường, người đã định hướng và tận tình chỉ bảo em trong suốt quá trình thực hiện đề tài cũng như trong toàn bộ thời gian em học tập và nghiên cứu tại lab. Em cảm ơn thầy vì sự quan tâm và những hướng dẫn quý báu.

Em cũng xin gửi lời cảm ơn chân thành đến anh Phan Văn Hải, người đã luôn nhiệt tình giúp đỡ, sẵn sàng dành thời gian hướng dẫn em hoàn thành đồ án. Em trân trọng cảm ơn sự hỗ trợ của anh Châu, chị Linh, bạn Bắc, bạn Tân và bạn Sơn trong việc giúp em hoàn thiện đồ án này. Bên cạnh đó, em cũng rất cảm ơn các bạn Nguyễn, Đạt và Khánh vì đã luôn động viên, khích lệ em trong suốt chặng đường thực hiện.

Cuối cùng, em xin gửi lời cảm ơn đến toàn thể tập thể thành viên Sensor Lab, thầy Nguyễn Quốc Cường và cô Lê Minh Thùy vì đã tạo ra một môi trường học tập chuyên nghiệp và đầy niềm vui cho chúng em.

## **Tóm tắt nội dung đồ án**

Ngày nay, với sự phát triển của các thiết bị tiêu thụ điện, nhu cầu theo dõi trạng thái của các thiết bị trở lên cần thiết. Một ứng dụng phổ biến trên thị trường hiện nay chính là “**ổ cắm thông minh**”. Thiết bị có khả năng theo dõi và đo đặc các thông số điện của tải cũng như của nguồn rồi gửi thông tin về cho người dùng, tuy nhiên, các “**ổ cắm thông minh**” hiện nay đa phần chỉ dừng lại ở việc đo đặc và điều khiển, chưa có cơ chế để có thể phát triển và dự đoán sớm các sự cố của thiết bị dẫn đến cháy nổ, hỏng hóc,...

Đồ án này em tập trung vào việc thiết kế và phát triển một ổ cắm điện thông minh, bao gồm các chức năng cơ bản như đo đặc, điều khiển từ xa và lập lịch bật tắt thiết bị. Thiết bị cũng được thiết kế để làm cơ sở phát triển các ứng dụng, thuật toán học máy để tích hợp các tính năng thông minh về sau thông qua việc có khả năng lưu trữ và thu thập tín hiệu dữ liệu với tần số cao ( $> 10\text{kHz}$ ). Việc truyền tin lên nền tảng Cloud thingsboard cũng được em sử dụng công nghệ Wifi rất gần gũi với các gia đình hiện nay mang đến sự tiện lợi. Ngoài ra, thiết bị còn được tích hợp chức năng cập nhật phần mềm từ xa (OTA) để có thể cung cấp thêm các tiện ích về sau.

Đồ án của em gồm các chương:

Chương 1: Đặt vấn đề và giải pháp

Chương 2: Cơ sở lý thuyết

Chương 3: Phân tích và thiết kế phần cứng cho ổ cắm

Chương 4: Thiết kế phần mềm

Chương 5: Kết quả, đo kiểm và đánh giá

Chương 6: Kết luận và hướng phát triển

Kết quả đạt được: em đã thiết kế ổ cắm thông minh mang đầy đủ các tính năng cơ bản như đã nêu ở trên, tính năng lấy mẫu tín hiệu với tần số cao em đã lấy được tín hiệu với tần số khoảng  $6\text{kHz}$ . Thiết bị đã được so sánh sai số với một đồng hồ vạn năng DT4282.

Sinh viên thực hiện  
Ký và ghi rõ họ tên

# MỤC LỤC

<b>CHƯƠNG 1. ĐẶT VẤN ĐỀ VÀ GIẢI PHÁP .....</b>	<b>1</b>
1.1 Đặt vấn đề .....	1
1.1.1 Bối cảnh về ổ cắm điện thông minh trên thị trường hiện nay .....	1
1.1.2 Đặt vấn đề.....	4
1.2 Mục tiêu của đồ án .....	4
1.3 Phạm vi nghiên cứu.....	6
1.4 Giải pháp đề xuất .....	7
1.5 Kết luận chương .....	7
<b>CHƯƠNG 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT.....</b>	<b>9</b>
2.1 Khái niệm về công suất.....	9
2.1.1 Khái niệm về công suất điện xoay chiều 1 pha [1] .....	9
2.1.2 Công suất tác dụng .....	9
2.1.3 Công suất phản kháng .....	10
2.1.4 Công suất toàn phần .....	10
2.1.5 Hệ số công suất .....	11
2.2 Phương pháp đo điện năng nhân tức thời bằng vi xử lý [2].....	11
2.3 Cảm biến đo cho thiết bị điện .....	13
2.3.1 Lựa chọn cảm biến đo điện .....	13
2.3.2 Giới thiệu về chip đo ADE7753 [3] .....	15
2.3.3 Nguyên lý hoạt động của chip đo ADE7753 .....	16
2.3.3.1. Tính công suất và năng lượng tác dụng .....	18
2.3.3.2. Tính công suất và năng lượng toàn phần .....	20
2.3.3.3. Tính dòng điện hiệu dụng .....	22
2.3.3.4. Tính điện áp hiệu dụng.....	23
2.3.4 Truyền thông nối tiếp trong ADE7753 .....	24
2.3.4.1. Quá trình ghi dữ liệu .....	25
2.3.4.2. Quá trình đọc dữ liệu.....	26
2.3.5 Hiệu chỉnh và bù sai số .....	27
2.3.5.1. Hiệu chỉnh hệ số khuếch đại cho năng lượng tác dụng .....	28
2.3.5.2. Watt offset.....	31
2.3.5.3. Hiệu chỉnh pha .....	32
2.3.5.4. Hiệu chỉnh VRMS.....	33

2.3.5.5.	Hiệu chỉnh IRMS .....	34
2.4	Công nghệ truyền thông Wifi và giao thức truyền tin MQTT .....	34
2.4.1	Công nghệ truyền thông Wifi.....	34
2.4.2	Giao thức truyền tin MQTT .....	35
2.5	Kết luận chương .....	35
<b>CHƯƠNG 3. PHÂN TÍCH VÀ THIẾT KẾ PHẦN CỨNG CHO Ổ CẮM ..</b>		<b>37</b>
3.1	Yêu cầu bài toán.....	37
3.2	Sơ đồ khối ổ cắm điện.....	37
3.2.1	Khối vi điều khiển trung tâm .....	38
3.2.1.1.	Yêu cầu lựa chọn.....	38
3.2.1.2.	Vi điều khiển ESP – WROOM32D [4].....	38
3.2.1.3.	Thiết kế khối xử lý trung tâm (MCU ESP32).....	40
3.2.2	Khối cảm biến điện ADE7753 .....	41
3.2.3	Khối chuyển hóa dòng điện.....	43
3.2.3.1.	Điện trở shunt.....	43
3.2.3.2.	Biến dòng .....	43
3.2.3.3.	Cuộn dây Rogowski .....	44
3.2.3.4.	Thiết kế mạch chuyển đổi dòng điện .....	45
3.2.4	Chuyển đổi điện áp.....	46
3.2.4.1.	Phân áp bằng biến áp .....	46
3.2.4.2.	Phân áp sử dụng điện trở.....	46
3.2.4.3.	Thiết kế mạch phân áp cho ADE7753 .....	47
3.2.5	Khối nguồn.....	47
3.2.6	Các phần phụ.....	48
3.3	Đóng vỏ cho thiết bị.....	50
3.4	Kết luận chương .....	51
<b>CHƯƠNG 4. THIẾT KẾ PHẦN MỀM .....</b>		<b>52</b>
4.1	Lưu đồ thuật toán cho chương trình chính của vi điều khiển .....	52
4.1.1	Lưu đồ thuật toán các Task đọc và xử lý dữ liệu .....	53
4.1.1.1.	Đọc dữ liệu cơ bản U,I,P,S .....	53
4.1.1.2.	Đọc và gửi wearform khi có sự cố .....	54
4.2	Lưu đồ thuật toán cho việc hiệu chỉnh .....	55
4.3	Hiệu chuẩn các thông số Watt gain, Watt offset, W/LSB .....	57

4.3.1	Hiệu chỉnh cho các giá trị điện áp hiệu dụng và dòng điện hiệu dụng	58
4.3.1.1.	Hiệu chỉnh cho điện áp hiệu dụng.....	58
4.3.1.2.	Hiệu chỉnh cho dòng điện hiệu dụng.....	59
4.4	Tính năng Smart config Wifi trên ESP32 .....	59
4.4.1	Giới thiệu về Smart config. ....	59
4.4.2	Cơ chế hoạt động của Smart config. ....	59
4.5	Cơ chế đóng cắt thiết bị tại điểm “0”.....	61
4.6	Lưu đồ thuật toán cho việc cập nhật chương trình mới(OTA) .....	62
4.6.1	Giới thiệu về OTA.....	62
4.6.2	Quy trình hoạt động của OTA.....	62
4.6.3	Lưu đồ thuật toán .....	63
4.7	Kết luận chương .....	63
<b>CHƯƠNG 5. KẾT QUẢ, ĐO KIỂM VÀ ĐÁNH GIÁ.....</b>		<b>65</b>
5.1	Đo kiểm sai số thiết bị.....	65
5.1.1	Đánh giá sai số đo dòng điện .....	68
5.1.2	Đánh giá sai số đo điện áp.....	69
5.2	Kết quả đạt được .....	70
5.3	Kết luận chương .....	73
<b>CHƯƠNG 6. KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN.....</b>		<b>74</b>
<b>TÀI LIỆU THAM KHẢO .....</b>		<b>75</b>
<b>PHỤ LỤC.....</b>		<b>76</b>

## DANH MỤC HÌNH ẢNH

Hình 1. Ổ cắm điện thông minh Xiaomi wifi gen 3.....	3
Hình 2 Sơ đồ khối tổng quan thiết bị đề xuất .....	7
Hình 3 Mối liên hệ giữa P,Q và S .....	11
Hình 4 Nhân tức thời bằng vi xử lý .....	11
Hình 5 Cấu trúc bên trong của một thiết bị đo năng lượng.....	12
Hình 6 DSP tích hợp ADC.....	12
Hình 7 ADC tích hợp DSP.....	13
Hình 8 Sơ đồ chân của ADE7753 .....	15
Hình 9 Sơ đồ khối chức năng trong IC ADE7753 .....	16
Hình 10 Sơ đồ tính toán công suất tác dụng trong ADE7753.....	18
Hình 11 Sơ đồ đo năng lượng tác dụng trong ADE7753.....	19
Hình 12 Sơ đồ tích lũy năng lượng tác dụng trong ADE7753.....	20
Hình 13 Sơ đồ đo công suất toàn phần trong ADE7753.....	21
Hình 14 Sơ đồ tính năng lượng toàn phần trong to ADE7753 .....	22
Hình 15 Sơ đồ tính toán dòng hiệu dụng trong ADE7753.....	22
Hình 16 Sơ đồ tính toán điện áp hiệu dụng trong ADE7753 .....	23
Hình 17 Quá trình ghi dữ liệu của ADE7753 .....	26
Hình 18 Quá trình đọc dữ liệu của ADE7753.....	27
Hình 19 Các bước hiệu chỉnh năng lượng tác dụng và năng lượng toàn phần của ADE7753.....	28
Hình 20 Quá trình hiệu chuẩn năng lượng tác dụng .....	28
Hình 21 Công nghệ Wifi trong nhà thông minh .....	34
Hình 22 Sơ đồ khối chi tiết cho thiết bị .....	37
Hình 23 Sơ đồ chân của vi điều khiển ESP – WROOM32D.....	38
Hình 24 Sơ đồ nguyên lý khối xử lý trung tâm (MCU ESP32).....	40
Hình 25 Sơ đồ nguyên lý cảm biến ADE7753.....	41
Hình 26 Sơ đồ nguyên lý mạch giao tiếp SPI .....	42
Hình 27 Đường cong từ hóa vật liệu ferrite .....	43
Hình 28 Cuộn Rogowski.....	44
Hình 29 Sơ đồ nguyên lý khối đầu vào kênh 1(dòng điện) .....	45
Hình 30 Sơ đồ nguyên lý khối đầu vào kênh 2(điện áp).....	47
Hình 31 Sơ đồ phân áp kênh 2(điện áp).....	47
Hình 32 Sơ đồ nguyên lý khối nguồn cung cấp.....	48
Hình 33 Sơ đồ nguyên lý khối đóng cắt.....	49
Hình 34 Các thành phần của vỏ hộp .....	51
Hình 35 Lưu đồ thuật toán chương trình chính.....	53



Hình 36	Lưu đồ thuật toán đọc các thông số điện từ cảm biến.....	53
Hình 37	Lưu đồ thuật toán đọc đọc tín hiệu dòng điện từ cảm biến.....	55
Hình 38	Lưu đồ thuật toán hiệu chỉnh năng lượng tác dụng .....	57
Hình 39	Lưu đồ thuật toán cho hiệu chuẩn điện áp hiệu dụng .....	58
Hình 40	Lưu đồ thuật toán cho hiệu chuẩn dòng điện hiệu dụng .....	59
Hình 41	Sơ đồ thiết lập kết nối wifi cho ESP32/ESP8266 .....	60
Hình 42	Cấu trúc gói tin UDP trong ESP touch .....	61
Hình 43	Thời gian đóng relay (Thông mạch) .....	62
Hình 44	Thời gian mở relay(hở mạch) .....	62
Hình 45	Lưu đồ thuật toán cho việc cập nhật OTA .....	63
Hình 46	Đồng hồ vạn năng DT4282 .....	65
Hình 47	Sơ đồ đo và đánh giá dòng điện .....	67
Hình 48	Sơ đồ đo và đánh giá điện áp .....	67
Hình 49	Thiết bị hoàn thiện được đóng vỏ .....	71
Hình 50	Giao diện quản lý chung tất cả các thiết bị trên nền tảng thingsboard .	71
Hình 51	Giao diện hiển thị và quản lý từng thiết bị trên nền tảng thingsboard..	71
Hình 52	Một mẫu tín hiệu đo được bởi kênh 1, giá trị hiệu dụng khoảng 5.7 A	72
Hình 53	Giao diện hẹn giờ, lập lịch cho thiết bị .....	72
Hình 54	Giao diện cập nhật phần mềm thông qua OTA driver .....	73
Hình 55	Giá trị mức điện áp ADE7753 .....	76
Hình 56	Mức điện áp logic ESP32.....	76
Hình 57	Tổng thể sơ đồ nguyên lý .....	81
Hình 58	Sơ đồ đi dây mạch PCB .....	82

## DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 1. Các ổ cắm điện thông minh tiêu biểu trên thị trường hiện nay .....	3
Bảng 2 So sánh một vài cảm biến đo điện năng .....	14
Bảng 3 Thông số sai số của DT4282 khi đo điện áp.....	66
Bảng 4 Thông số sai số của DT4282 khi đo dòng điện .....	66
Bảng 5 Kết quả đo các thông số U,I,P,S .....	67
Bảng 6 kết quả đo thông số U .....	68
Bảng 7 Đánh giá sai số, sai số trung bình và phương sai của phép đo I giữa thiết bị thiết kế và thiết bị chuẩn .....	68
Bảng 8 Đánh giá sai số và sai số trung bình khi đo dòng điện của thiết bị chuẩn .....	69
Bảng 9 Đánh giá sai số, sai số trung bình của phép đo điện áp giữa thiết bị thiết kế và thiết bị chuẩn .....	69
Bảng 10 Sai số cả thiết bị chuẩn khi đo điện áp .....	70

## DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

Kí hiệu	Ý nghĩa tiếng anh	Ý nghĩa tiếng việt
ADC	Analog to Digital Converter	Bộ chuyển đổi tương tự sang số
DSP	Digital Signal Processing	Xử lý tín hiệu số
IC	Integrated Circuit	Mạch tích hợp
SPI	Serial Peripheral Interface	Giao diện ngoại vi nối tiếp đồng bộ
OTA	Over The Air	Cập nhật không dây
PCB	Printed Circuit Board	Bảng mạch in
TLS	Transport Layer Security	Bảo mật tầng vận chuyển
IoT	Internet of Things	Internet vạn vật
VAR	Volt Amperes Reactive	Đơn vị công suất phản kháng
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory	Bộ nhớ chỉ đọc có thể lập trình
MCU	Microcontroller Unit	Vi điều khiển
I2C	Inter-Integrated Circuit	Giao thức liên kết giữa các mạch tích hợp (2 dây)
PGA	Programmable Gain Amplifier	Bộ khuếch đại có thể lập trình
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport	Giao thức truyền tải thông điệp qua hàng đợi.

# **CHƯƠNG 1. ĐẶT VẤN ĐỀ VÀ GIẢI PHÁP**

## **1.1 Đặt vấn đề**

### **1.1.1 Bối cảnh về ổ cắm điện thông minh trên thị trường hiện nay**

Sự phát triển của các thiết bị điện gia dụng và công nghệ điện tử tiêu dùng đã mang lại rất nhiều tiện ích trong đời sống hàng ngày, nhưng cũng đặt ra nhiều thách thức về quản lý tiêu thụ năng lượng và an toàn điện. Với số lượng thiết bị điện gia dụng như tivi, tủ lạnh, máy điều hòa, bếp từ, máy giặt, lò vi sóng ngày càng phổ biến trong mỗi gia đình, mức tiêu thụ điện năng tăng lên đáng kể, kéo theo đó là chi phí điện hàng tháng. Đặc biệt, tại các đô thị lớn, nơi mật độ dân cư và số lượng thiết bị điện dày đặc, việc sử dụng điện năng hợp lý, an toàn và tiết kiệm là rất quan trọng để tránh tình trạng quá tải và giảm thiểu nguy cơ cháy nổ do chập điện.

Trong bối cảnh này, các gia đình và doanh nghiệp đang tìm kiếm các giải pháp thông minh nhằm kiểm soát và quản lý mức tiêu thụ điện một cách hiệu quả. Điều này bao gồm giám sát thời gian hoạt động của từng thiết bị, lượng điện năng tiêu thụ, cũng như lên lịch tắt mở các thiết bị vào những thời điểm cụ thể để tránh lãng phí. Nhu cầu này càng trở nên cấp thiết khi mà giá điện liên tục tăng, cùng với đó là áp lực từ các chính sách bảo vệ môi trường yêu cầu người dân và doanh nghiệp phải giảm thiểu lãng phí năng lượng và giảm phát thải khí nhà kính.

Bên cạnh việc tiết kiệm điện, một vấn đề quan trọng khác là đảm bảo an toàn điện cho các thiết bị và con người. Các thiết bị điện gia dụng và công nghiệp, đặc biệt là những thiết bị công suất lớn như bếp từ, lò sưởi, và máy điều hòa không khí, có nguy cơ cao gặp các sự cố như quá tải, rò rỉ điện, hoặc quá nhiệt. Những sự cố này có thể dẫn đến cháy nổ, làm hỏng thiết bị và gây nguy hiểm đến tính mạng người dùng. Việc theo dõi tình trạng hoạt động, nhiệt độ, và dòng điện tiêu thụ của từng thiết bị giúp người dùng phát hiện kịp thời các vấn đề tiềm ẩn và có biện pháp xử lý hoặc bảo trì thiết bị định kỳ, từ đó tăng cường an toàn và kéo dài tuổi thọ của thiết bị.

Ngoài ra, trong môi trường doanh nghiệp, việc quản lý thiết bị điện một cách hiệu quả không chỉ giúp tối ưu hóa chi phí vận hành mà còn góp phần duy trì sự

ổn định của lưới điện. Trong các doanh nghiệp sản xuất, kho bãi hoặc văn phòng lớn, các thiết bị điện như máy điều hòa, hệ thống chiếu sáng, và máy móc sản xuất thường hoạt động liên tục, tạo áp lực lớn lên hệ thống điện và dẫn đến tình trạng tiêu hao năng lượng lãng phí nếu không được giám sát chặt chẽ. Việc sử dụng các thiết bị điện thông minh có khả năng tự động tắt hoặc có thể bật tắt thông qua ổ cắm khi không có người sử dụng hoặc giảm công suất khi không cần thiết sẽ giúp doanh nghiệp tiết kiệm đáng kể chi phí điện năng, đồng thời giảm nguy cơ quá tải cục bộ.

Tại Việt Nam, việc quản lý và bảo trì thiết bị điện thường được thực hiện thủ công, đòi hỏi nhiều nhân lực và chi phí. Để đảm bảo các thiết bị hoạt động ổn định và an toàn, các gia đình và doanh nghiệp cần kiểm tra, bảo trì thiết bị định kỳ theo chu kỳ hàng tuần, hàng tháng hoặc hàng năm. Tuy nhiên, phương pháp quản lý thủ công này không chỉ tốn kém mà còn dễ gặp sai sót, đặc biệt khi số lượng thiết bị lớn hoặc các thiết bị được sử dụng ở nhiều địa điểm khác nhau. Sự phát triển của một hệ thống giám sát và điều khiển thiết bị điện tự động, chẳng hạn như thông qua smart socket, sẽ giúp đơn giản hóa quá trình quản lý và bảo trì, đồng thời giảm thiểu chi phí và tăng hiệu quả sử dụng năng lượng.

Smart socket, hay ổ cắm thông minh, là một giải pháp thiết thực để giải quyết các vấn đề trên. Thiết bị này có khả năng giám sát mức tiêu thụ điện, thời gian hoạt động của các thiết bị điện, và tự động ngắt nguồn khi cần thiết. Bằng cách kết nối với mạng Wi-Fi, smart socket cho phép người dùng điều khiển từ xa thông qua smartphone hoặc máy tính, giúp tăng cường tính linh hoạt và tiện lợi trong việc quản lý điện năng. Smart socket không chỉ là một công cụ giám sát, mà còn giúp người dùng tối ưu hóa sử dụng năng lượng bằng cách lên lịch bật/tắt cho các thiết bị, từ đó giảm thiểu tình trạng lãng phí điện và tiết kiệm chi phí.



Hình 1. Ổ cắm điện thông minh Xiaomi wifi gen 3

Không chỉ trong gia đình, tại các doanh nghiệp, smart socket còn giúp doanh nghiệp giám sát việc sử dụng thiết bị điện từ xa, phát hiện kịp thời các thiết bị tiêu hao năng lượng cao hoặc gặp sự cố, từ đó lập kế hoạch bảo trì và điều chỉnh sử dụng thiết bị một cách hợp lý. Đặc biệt, trong các ngành công nghiệp nơi thiết bị hoạt động liên tục, smart socket còn giúp đảm bảo an toàn điện, giảm nguy cơ cháy nổ do quá tải và bảo vệ thiết bị khỏi hỏng hóc. Dưới đây em xin tóm tắt về một số ổ cắm điện thông minh trên thị trường hiện nay:

Chức năng chính	Đo dòng, áp	Đo công suất	Bật, tắt thiết bị	Công nghệ truyền tin	Công suất tối đa	Hẹn giờ, lập lịch
Ổ cắm thông minh Tuya	Không	Có	Có	Công nghệ Wifi	3500W	Có
Ổ cắm thông minh Điện Quang	Không	Không	Có	Công nghệ Wifi	2000W	Có
Ổ cắm thông minh Rạng Đông	Không	Không	Có	Công nghệ Wifi	2500W	Có
Ổ cắm thông minh Kasa	Không	Không	Có	Công nghệ Wifi	3300W	Có

Bảng 1. Các ổ cắm điện thông minh tiêu biểu trên thị trường hiện nay

### 1.1.2 Đặt vấn đề

Hiện nay, trên thị trường, các loại ổ cắm thông minh chủ yếu tập trung vào các chức năng cơ bản như bật/tắt thiết bị từ xa, lập lịch trình hoạt động, và tích hợp với các hệ thống điều khiển thông minh. Tuy nhiên, đa số các sản phẩm này chưa được trang bị cơ chế phát hiện sự cố thiết bị hoặc ghi nhận các sự kiện bất thường. Điều này đặt ra nhu cầu về một thiết bị không chỉ đáp ứng các chức năng cơ bản mà còn có khả năng thu thập thông tin từ các sự kiện bất thường để phân tích, giám sát và ứng dụng các công nghệ học máy, từ đó nâng cao tính năng thông minh của thiết bị sau này.

Trong bối cảnh hiện đại, việc phát triển một hệ thống quản lý điện năng thông minh với khả năng giám sát và điều khiển từ xa qua kết nối Wi-Fi đang trở nên cấp thiết. Từ những vấn đề thực tiễn này, em đã chọn đề tài **“Thiết kế ổ cắm điện thông minh sử dụng công nghệ truyền thông Wifi”**. Đây là một thiết bị tích hợp khả năng giám sát các thông số của nguồn và tải, điều khiển thiết bị từ xa và tại chỗ, và kết nối với mạng Wi-Fi để quản lý từ xa, ngoài ra có thể thu thập các thông tin về sự cố điện từ đó làm cơ sở để phát triển các thuật toán học máy, tích hợp thêm tính năng thông minh sau này. Ổ cắm thông minh không chỉ giúp người dùng tiết kiệm điện năng, bảo vệ thiết bị mà còn mang lại sự tiện lợi và hiệu quả trong việc quản lý năng lượng một cách tối ưu.

## 1.2 Mục tiêu của đồ án

Mục tiêu của đề tài là thiết kế và phát triển một ổ cắm điện thông minh tích hợp khả năng giám sát, đo lường, bảo vệ, và điều khiển từ xa qua mạng IoT, nhằm đáp ứng các nhu cầu sau:

### 1. Giám sát và đo lường các thông số điện cơ bản:

Đảm bảo ổ cắm có thể đo và hiển thị các thông số điện quan trọng như điện áp, dòng điện, hệ số công suất, công suất tiêu thụ và công suất phản kháng. Từ đó, người dùng có thể theo dõi tình trạng hoạt động của thiết bị và mức độ tiêu thụ điện năng theo thời gian thực.

### 2. Lấy mẫu tín hiệu với tần số cao:

Thiết kế ổ cắm có khả năng lấy mẫu tín hiệu điện áp và dòng điện với tần số cao, giúp phát hiện và phân tích các thay đổi tín hiệu dòng điện, hỗ trợ phát hiện sớm các dấu hiệu bất thường, nâng cao hiệu quả giám sát thiết bị.

**3. Lưu trữ và truyền dữ liệu qua mạng:**

Phát triển hệ thống lưu trữ cục bộ dữ liệu, với khả năng đồng bộ và truyền tải dữ liệu đo đạc tới nền tảng IoT để quản lý và phân tích. Hệ thống đảm bảo hoạt động ổn định ngay cả khi gặp sự cố mất kết nối, tự động cập nhật khi kết nối được khôi phục.

**4. Bảo vệ an toàn thiết bị điện:**

Tích hợp cơ chế bảo vệ thiết bị khi có các sự cố như quá tải, quá áp, giúp ngăn ngừa nguy cơ hư hỏng thiết bị và đảm bảo an toàn cho người sử dụng.

**5. Hỗ trợ điều khiển từ xa và hẹn giờ:**

Cho phép người dùng dễ dàng điều khiển thiết bị từ xa qua ứng dụng di động hoặc trình duyệt web, đồng thời lập lịch đóng/cắt thiết bị theo thời gian định trước, giúp tối ưu hóa tiêu thụ năng lượng và thuận tiện trong sử dụng.

**6. Nâng cao an ninh dữ liệu và bảo mật thông tin:**

Đảm bảo tính bảo mật cho việc truyền và nhận dữ liệu bằng các giao thức mã hóa, như TLS, giúp người dùng yên tâm khi điều khiển thiết bị từ xa và bảo vệ thông tin khỏi các nguy cơ tấn công từ bên ngoài.

**7. Phát triển các tính năng thông minh (tùy chọn):**

Tích hợp các thuật toán trí tuệ nhân tạo (AI) nhằm bảo vệ và chẩn đoán trước hỏng hóc của thiết bị, phát hiện các bất thường trong tiêu thụ điện năng, và cảnh báo sớm các nguy cơ cháy nổ hoặc hư hỏng thiết bị, từ đó đảm bảo hiệu quả và an toàn khi sử dụng.

**8. Cơ chế cập nhật phần mềm từ xa (OTA)**

Hỗ trợ cập nhật phần mềm từ xa, cho phép người dùng cập nhật phiên bản mới từ giao diện người dùng để có tối ưu những tính năng, tiện ích mới nhất từ phiên bản phần cứng đã có.



Thông qua việc triển khai các mục tiêu trên, đề tài hướng tới việc tạo ra một sản phẩm ổ cắm điện thông minh hoàn chỉnh, đáp ứng nhu cầu giám sát và bảo vệ thiết bị điện gia dụng và công nghiệp, đồng thời dễ dàng tích hợp vào các hệ thống nhà thông minh và mạng IoT.

### 1.3 Phạm vi nghiên cứu

Đối với đề án này, em sẽ tập trung vào việc thiết kế phần cứng và phần mềm để thu thập thông số về điện của nguồn cũng như của tải, thực hiện các chức năng đóng cắt thiết bị thủ công hoặc theo lịch trình đặt sẵn, gửi dữ liệu về nền tảng Platform trung tâm, cụ thể như sau:

1. **Đo các thông số điện cơ bản:** Điện áp (U), Dòng điện (I), hệ số công suất ( $\cos\phi$ ), công suất tiêu thụ (P), công suất phản kháng (Q).

2. **Lấy mẫu tín hiệu:**

Khả năng lấy mẫu tín hiệu U và I với tần số 10kHz (hoặc cao hơn) trong khoảng thời gian 5 đến 10 chu kỳ 50Hz.

3. **Lưu trữ và truyền dữ liệu:**

Dữ liệu đo được lưu trữ cục bộ và truyền về nền tảng trung tâm (IoT Platform) để phân tích và giám sát.

Cơ chế lưu trữ tạm thời trong trường hợp mất kết nối với nền tảng trung tâm, và tự động đồng bộ lại khi có kết nối.

4. **Kết nối mạng:**

Sử dụng kết nối Wi-Fi để truyền dữ liệu và nhận lệnh điều khiển từ xa.

5. **Điều khiển đóng cắt:**

Ổ cắm có khả năng điều khiển đóng cắt thiết bị từ xa và tại chỗ.

Tích hợp cơ chế bảo vệ khi có sự cố, như quá tải, quá áp

6. **Hẹn giờ:**

Có thể lập trình để đóng cắt thiết bị theo thời gian hẹn giờ.

7. **Điều khiển từ xa:**

Người dùng có thể điều khiển thiết bị từ xa qua ứng dụng di động hoặc trình duyệt web kết nối với IoT Platform.

8. **Tính năng bảo vệ thông minh (optional):**

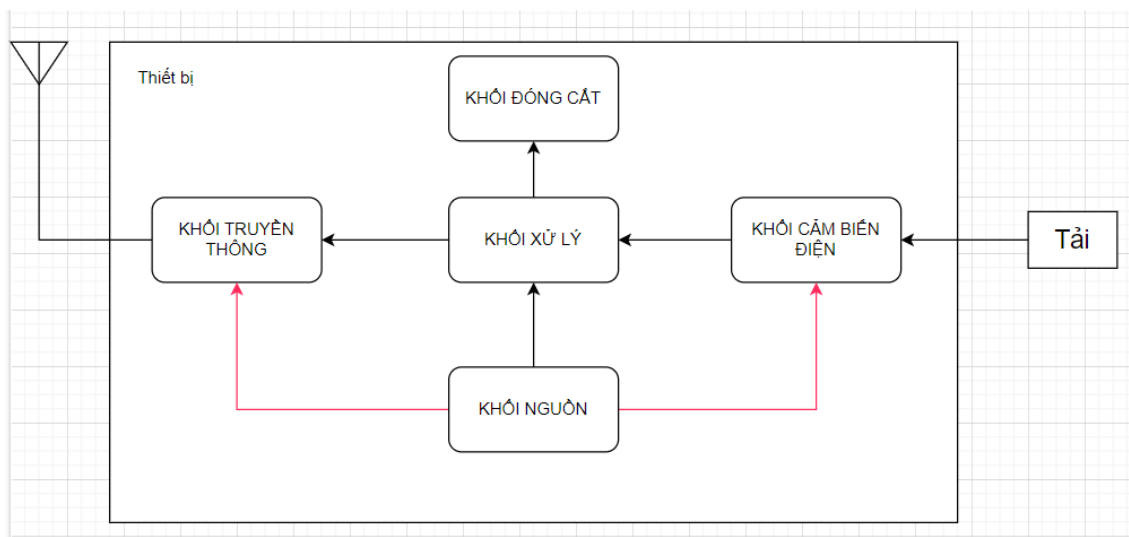
Phát triển các thuật toán trí tuệ nhân tạo (AI) nhằm bảo vệ thiết bị tiêu thụ điện, ví dụ:

- **Dự đoán** và **phòng ngừa** hỏng hóc cho thiết bị điện như quạt hoặc tủ lạnh dựa trên các mẫu tiêu thụ điện năng.
- Phát hiện sớm các dấu hiệu tiêu thụ điện bất thường, cảnh báo nguy cơ cháy nổ hoặc hư hỏng thiết bị.

9. **Bảo mật:** Đảm bảo tính bảo mật cho việc truyền dữ liệu và điều khiển thiết bị từ xa, có thể áp dụng các chuẩn mã hóa dữ liệu (như TLS).

## 1.4 Giải pháp đề xuất

Từ yêu cầu bài toán em có đưa ra phương án thiết kế của một ổ cắm thông minh như sau.



Hình 2 Sơ đồ khối tổng quan thiết bị đề xuất

## 1.5 Kết luận chương

Trong chương này, em đã xác định rõ nhu cầu cấp thiết về việc phát triển ổ cắm điện thông minh trong bối cảnh hiện đại, nơi mà việc quản lý và giám sát tiêu thụ điện năng ngày càng trở nên quan trọng. Sự gia tăng của các thiết bị điện tử trong các hộ gia đình và cơ sở sản xuất yêu cầu một giải pháp hiệu quả để theo dõi, điều khiển và bảo vệ thiết bị điện, đồng thời tiết kiệm năng lượng và giảm thiểu rủi ro hư hỏng.

Em đã đề xuất sơ đồ khối thiết bị để có thể triển khai các chức năng theo yêu cầu. Chương này đã tạo cơ sở cho các nội dung tiếp theo, nơi em sẽ đi sâu vào cơ sở lý thuyết, phân tích thiết kế, triển khai và thử nghiệm thiết bị.

## CHƯƠNG 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

### 2.1 Khái niệm về công suất

#### 2.1.1 Khái niệm về công suất điện xoay chiều 1 pha [1]

Hệ thống nguồn điện xoay chiều một pha có nguồn điện áp hình sin lý tưởng cấp cho một tải tuyến tính. Trong trường hợp này, điện áp và dòng điện của hệ thống được biểu diễn dưới dạng tín hiệu theo thời gian:

$$u(t) = \sqrt{2} \times U \times \sin(\omega t) \quad (2-1)$$

$$i(t) = \sqrt{2} \times I \times \sin(\omega t + \varphi) \quad (2-2)$$

Công suất tức thời được định nghĩa bằng tích của điện áp và dòng điện tức thời:

$$\begin{aligned} p(t) &= u(t)i(t) = 2UI \sin(\omega t) \sin(\omega t + \varphi) \\ &= UI \cos \varphi - UI \cos(\omega 2 + \varphi) \end{aligned} \quad (2-3)$$

#### 2.1.2 Công suất tác dụng

Công suất tác dụng là phần năng lượng điện được sử dụng để chuyển hóa thành các dạng năng lượng khác như cơ năng, nhiệt năng hoặc hóa năng. Đơn vị đo công suất tác dụng, ký hiệu là P, được tính bằng watt (W).

Trong mạch xoay chiều một pha, công suất tác dụng được định nghĩa là giá trị trung bình của công suất tức thời trong suốt một chu kỳ T:

:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{T} \int_0^T u i dt \quad (2-4)$$

Trong đó:  $p, u, i$  là các giá trị tức thời của công suất, áp và dòng.

Trong trường hợp dòng điện và điện áp có dạng hình sin thì công suất tác dụng được tính là:

$$P = UI \cos \varphi \quad (2-5)$$

Trong đó:  $U, I$  là các giá trị hiệu dụng của điện áp và dòng điện.

Phi ( $\varphi$ ) là góc lệch pha giữa điện áp và dòng điện. Bất kỳ tín hiệu nào có tính chu kỳ (tức là lặp lại theo một chu kỳ nhất định), dù dạng sóng của nó phức tạp đến đâu, đều có thể được phân tích thành tổng của các thành phần sóng hài

bằng phép biến đổi Fourier. Mỗi thành phần sóng hài này có tần số là bội số nguyên của tần số cơ bản.

Công suất tác dụng (P) của tín hiệu chu kỳ đó chính xác bằng tổng của công suất tác dụng của từng thành phần sóng hài. Điều này có nghĩa là để tính công suất tác dụng tổng, ta cần tính công suất tác dụng của mỗi sóng hài riêng biệt, sau đó cộng tất cả các giá trị này lại.

$$P = \sum_{k=1}^{\infty} P_k = \sum_{k=1}^{\infty} U_k I_k \cos \varphi_k \quad (2-6)$$

### 2.1.3 Công suất phản kháng

Trong trường hợp mạch điện xoay chiều (dòng điện và điện áp có dạng hình sin) thì công suất phản kháng được tính theo công thức:

$$Q = UI \sin \varphi \quad (2-7)$$

Trong đó:  $U, I$  là các giá trị hiệu dụng của điện áp và dòng điện.

Phi ( $\varphi$ ) là góc lệch pha giữa điện áp và dòng điện.

Công suất phản kháng có đơn vị là VAR.

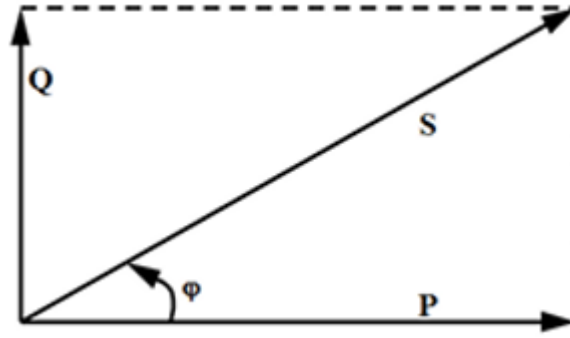
### 2.1.4 Công suất toàn phần

**Công suất toàn phần** (ký hiệu là S) là một đại lượng trong hệ thống điện xoay chiều, biểu thị tổng công suất của hệ thống bao gồm cả **công suất tác dụng** và **công suất phản kháng**. Nó được định nghĩa là tích của điện áp hiệu dụng (U) và dòng điện hiệu dụng (I) trong mạch:

$$S = U \times I \quad (2-8)$$

Đơn vị của công suất toàn phần là VA (Volt - Ampe). Công thức liên hệ giữa công suất toàn phần, công suất tác dụng và công suất phản kháng là:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2-9)$$



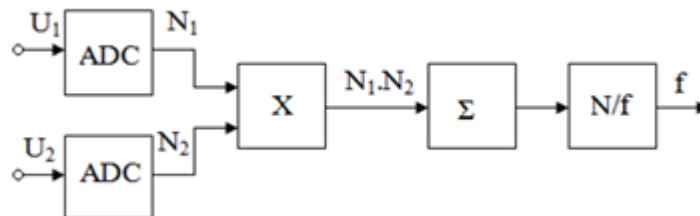
Hình 3 Mối liên hệ giữa  $P, Q$  và  $S$

### 2.1.5 Hệ số công suất

Hệ số công suất trong mạch được xác định là tỷ lệ giữa công suất hữu ích và công suất biểu kiến. Đối với dòng điện xoay chiều có dạng sóng sin lý tưởng, hệ số công suất được tính bằng cosin của góc pha giữa dòng điện và điện áp trong mạch. Vì vậy, trên thực tế, hệ số công suất thường được biểu diễn dưới dạng " $\cos \varphi$ ".

## 2.2 Phương pháp đo điện năng nhân tức thời bằng vi xử lý [2]

Vào cuối những năm 80, nhờ sự tiến bộ vượt bậc của công nghệ vi xử lý, phép nhân tức thời giữa  $u$  và  $i$  đã được thực hiện bằng phương pháp số. Cách thức hoạt động của phương pháp này được trình bày chi tiết trong sơ đồ.



Hình 4 Nhân tức thời bằng vi xử lý

Hai điện áp  $U_1$  và  $U_2$  được chuyển đổi thành các tín hiệu số  $N_1 = K_1 U_1$  và  $N_2 = K_2 U_2$ . Quá trình nhân tín hiệu này được thực hiện trong không gian số bởi một vi xử lý. Nếu tốc độ của 2 bộ ADC đủ lớn  $N_{1t}, N_{2t}$  tỷ lệ với giá trị tức thời của  $U_1$  và  $U_2$ . Tích số:  $N_t = N_{1t} \times N_{2t}$  tỷ lệ với giá trị tức thời của  $p$ .

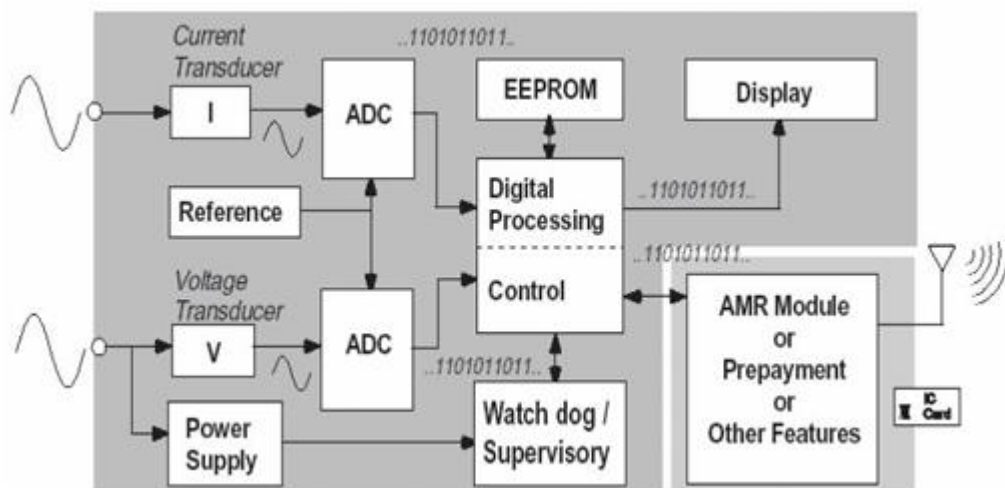
Bộ tổng được sử dụng thay thế cho quá trình tích phân  $\int p dt$ . Dựa trên các lý thuyết này, Hình 4 trình bày cấu trúc chung của một thiết bị đo điện năng.

Thiết bị này bao gồm:

- Một cảm biến dòng điện và một cảm biến điện áp.

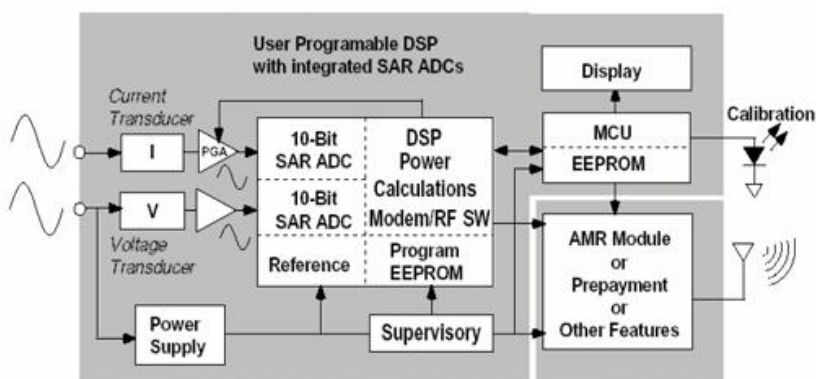
- Các bộ chuyển đổi ADC dùng để số hóa tín hiệu dòng điện và điện áp, sau đó tín hiệu số được đưa vào bộ xử lý trung tâm để xử lý.

Kết quả xử lý có thể được lưu trữ trong bộ nhớ EEPROM, hiển thị kết quả lên màn hình hoặc truyền đi để giao tiếp với các thiết bị khác.



Hình 5 Cấu trúc bên trong của một thiết bị đo năng lượng

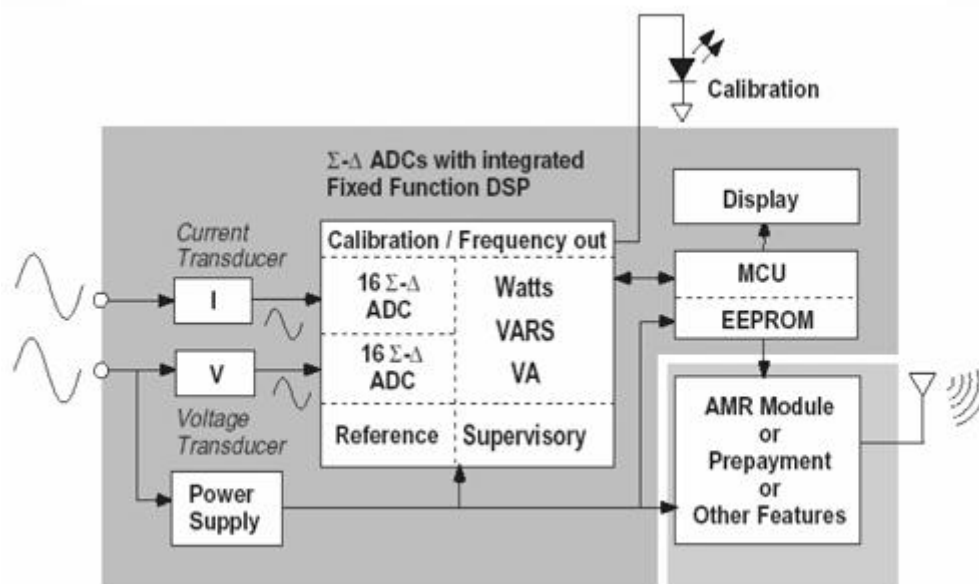
Hình 6 trình bày một giải pháp sử dụng bộ xử lý tín hiệu số (DSP) tích hợp với bộ chuyển đổi ADC. Trong hệ thống này, DSP nhận tín hiệu số từ ADC và thực hiện các phép toán xử lý tín hiệu để tính toán các đại lượng cần thiết. Kết quả tính toán sau đó được DSP truyền tải đến vi xử lý trung tâm (MCU) hoặc các thiết bị ngoại vi khác. Quá trình này giúp giảm tải cho vi xử lý trung tâm, đồng thời cải thiện hiệu suất và tốc độ xử lý trong các ứng dụng yêu cầu xử lý tín hiệu nhanh và chính xác. Vi xử lý trung tâm sẽ tiếp nhận kết quả xử lý từ DSP, tiếp tục thực hiện các thao tác điều khiển hoặc giao tiếp với các hệ thống ngoài để phục vụ cho các ứng dụng thực tế.



Hình 6 DSP tích hợp ADC

Hình 7 mô tả một giải pháp sử dụng ADC tích hợp DSP, giúp xử lý các tín hiệu đo và thực hiện các phép tính cần thiết để tính toán các đại lượng quan trọng. Trong cấu trúc này, ADC và DSP được tích hợp trong cùng một mạch, mang lại sự chính xác cao và hiệu suất xử lý mạnh mẽ. Tuy nhiên, hệ thống không thể giao tiếp trực tiếp với các thiết bị ngoại vi mà phải thông qua một vi xử lý trung tâm (MCU), điều này giúp quản lý và điều khiển quá trình xử lý dữ liệu từ xa, đồng thời duy trì tính linh hoạt và khả năng mở rộng của hệ thống.

Các bộ chuyển đổi ADC trong hệ thống này thường được thiết kế đặc biệt để đạt được độ chính xác và hiệu suất tối ưu, điều này giúp dễ dàng sử dụng trong các ứng dụng yêu cầu đo lường chính xác và xử lý tín hiệu cao. Đặc biệt, đây là cấu trúc phổ biến trong các IC đo công suất của hãng Analog Devices, nơi các tín hiệu dòng điện và điện áp được chuyển đổi và xử lý một cách hiệu quả, sau đó truyền tải kết quả tới vi xử lý trung tâm. Cấu trúc này không chỉ mang lại độ chính xác cao mà còn giúp giảm thiểu sự phức tạp trong việc thiết kế mạch và tăng khả năng tích hợp cho các hệ thống đo điện năng hiện đại.



Hình 7 ADC tích hợp DSP

## 2.3 Cảm biến đo cho thiết bị điện

### 2.3.1 Lựa chọn cảm biến đo điện

Đối với các thiết bị điện trong nhà, đa số chúng đều sử dụng điện một pha, công suất nhỏ hơn 2200W. Ở nước ta, lưới điện dân dụng hoạt động ở điện áp 220VAC, tần số 50Hz, nên khi chọn cảm biến đo điện thì cảm biến cũng phải đáp



ứng được điều kiện này. Ngoài ra, cảm biến cũng phải đảm bảo độ an toàn và chính xác, đạt được các yêu cầu mà đề tài đưa ra.

❖ Các yêu cầu cho cảm biến đo điện

- Đo điện lưới 1 pha, 220V 50Hz.
- Đo được các thông số U, I,  $\cos\varphi$ , dòng tối đa 10A.
- Khả năng lấy mẫu tín hiệu U và I với tần số 10kHz (hoặc cao hơn) trong khoảng thời gian 5 đến 10 chu kỳ 50Hz.

Dưới đây là bảng danh sách các cảm biến đo điện mà em đã tìm hiểu:

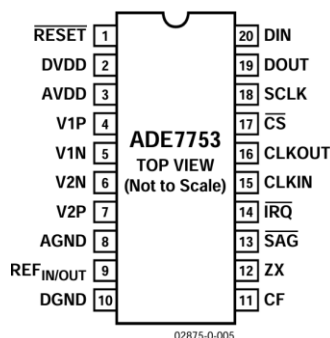
Tiêu chí đánh giá	ADE9153a	ADE7753	MCP3903	INA226
Mạch chuẩn hóa chuyển đổi dòng điện	Máy biến dòng, điện trở shunt	Máy biến dòng, cuộn Rogowski, điện trở shunt	điện trở shunt	điện trở shunt
Tần số lấy mẫu tín hiệu	4kHz	Tối đa 27,9kHz	1kHz	1,1kHz
Chức năng đặc biệt	Công nghệ mSure tự động hiệu chuẩn thiết bị	Chế độ tiết kiệm năng lượng	Công suất tiêu thụ thấp	Chẩn đoán thông minh(cảnh báo quá tải)
Giao tiếp	Xung CF, SPI, UART	Xung CF, SPI	SPI	I2C

*Bảng 2 So sánh một vài cảm biến đo điện năng*

Từ các tiêu chí trên, ta có thể thấy chip ADE7753 của Analog Device là chip phù hợp cho đề tài. Nó có đầy đủ các yêu cầu về các thông số đo và tần số lấy mẫu tín hiệu ( tối đa lên đến 27,9 kHz).

### 2.3.2 Giới thiệu về chip đo ADE7753 [3]

ADE753 là một vi mạch tích hợp dùng để đo năng lượng của tải 1 pha với giao diện nối tiếp SPI với các thiết bị khác. Sơ đồ chân như hình:



Hình 8 Sơ đồ chân của ADE7753

ADE7753 là một IC đo lường năng lượng tích hợp bộ chuyển đổi ADC và bộ xử lý tín hiệu số (DSP), nổi bật với độ chính xác cao và khả năng hoạt động ổn định ngay cả trong môi trường khắc nghiệt. IC này giao tiếp qua giao diện SPI với 4 dây (DIN, DOUT, SCLKIN, CS), tích hợp tín hiệu ngắt (IRQ) và một đầu ra xung (CF) tương ứng với công suất đo được. Thiết bị này được ứng dụng phổ biến trong việc phát triển các loại công tơ điện tử.

ADE7753 được trang bị các thành phần như bộ tích phân số, mạch điện áp tham chiếu, cảm biến nhiệt độ và bộ xử lý tín hiệu. Những thành phần này hỗ trợ việc đo lường các loại năng lượng bao gồm năng lượng tác dụng, năng lượng phản kháng, năng lượng biểu kiến, đồng thời cho phép tính chu kỳ điện áp và giá trị hiệu dụng của điện áp cùng dòng điện.

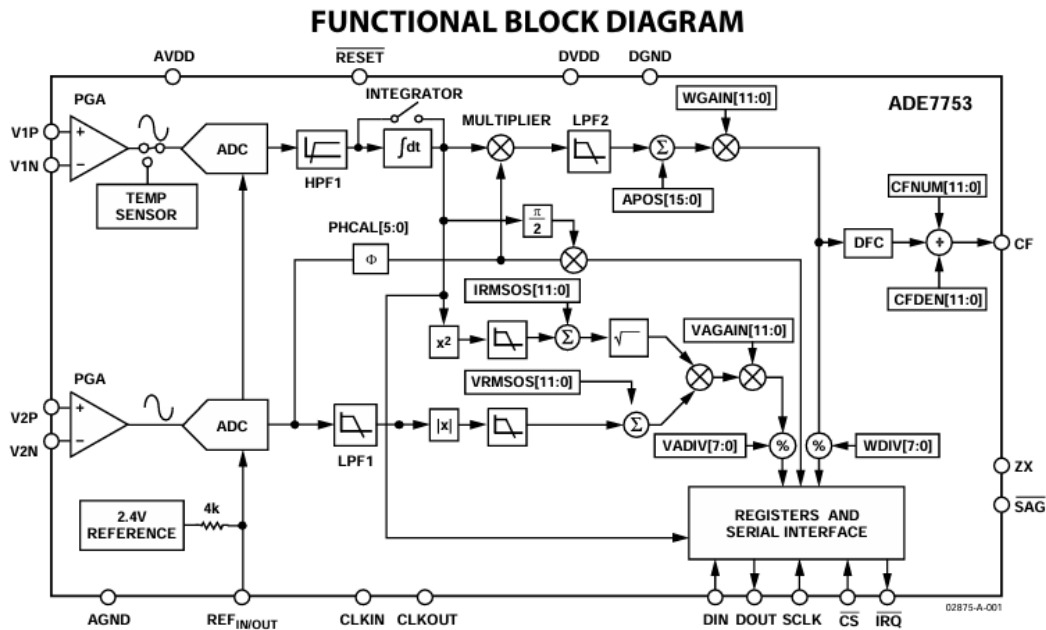
Bộ tích phân số có khả năng kết nối trực tiếp với các cảm biến dòng, chẳng hạn như cuộn Rogowski, giúp đảm bảo độ chính xác trong việc đo lường sự lệch pha giữa dòng điện và điện áp. IC cũng được thiết kế để thực hiện các điều chỉnh như bù offset, tính góc pha và tính toán công suất với độ chính xác cao. Ngoài ra, nó có thể nhận biết trạng thái quá áp hoặc sụt áp, đảm bảo an toàn cho hệ thống.

Một điểm đáng chú ý là ADE7753 chỉ ghi nhận năng lượng tiêu thụ khi công suất dương, nhờ chế độ lưu trữ giá trị dương. Cơ chế ngưỡng không tải giúp loại bỏ hiện tượng dòng rò khi không có tải. Đầu ra phát hiện điểm qua 0 (ZX) tạo

xung đồng bộ với tín hiệu điện áp tại điểm qua 0, hỗ trợ lưu trữ năng lượng tác dụng và biểu kiến theo chu kỳ điện lưới, đồng thời cải thiện tốc độ xử lý.

Hơn nữa, thanh ghi trạng thái ngắt được sử dụng để xác định các nguồn ngắt, trong khi thanh ghi cho phép ngắt kiểm soát các sự kiện cần kích hoạt, đảm bảo việc gửi tín hiệu ngắt qua chân IRQ khi cần thiết.

### 2.3.3 Nguyên lý hoạt động của chip đo ADE7753



Hình 9 Sơ đồ khối chức năng trong IC ADE7753

Có thể giải thích cách làm việc của ADE7753 như sau :

Điện áp vào 2 kênh  $V_1$  và  $V_2$ . Điện áp vào  $V_1$ ,  $V_2$  có thể thay đổi hệ số khuếch đại : 1, 2, 4, 6, 8, 16. Điện áp cao nhất 0.5V. Thấp nhất 0.00781V, hệ số khuếch đại có thể lập trình được thông qua giao tiếp SPI vào 2 PGA ở 2 kênh. Tín hiệu sau khuếch đại đưa vào ADC kiểu  $\Sigma, \Delta$  16 bit tần số lấy mẫu là 894K/s. Bộ lọc thông cao có tác dụng loại trừ offset đầu ra của ADC. Bộ tích phân có thể được bật hoặc tắt nếu cần thiết.

Tín hiệu sau tích phân chia làm 2 đường, đường thứ nhất đi vào bộ nhân với tín hiệu lấy từ  $V_2$  sang. Tín hiệu  $V_2$  được điều chỉnh góc pha của một trong 2 tín hiệu bị lệch pha trong  $V_1$  hoặc  $V_2$ .

Sau khi nhân xong số liệu đầu ra tỷ lệ với tích  $V_1 \cdot V_2$ . Số liệu này qua bộ lọc thông thấp để loại trừ những giao động tần số cao. Sau đó chúng được cộng hòa

với nhau theo công thức tính toán  $\frac{1}{N} \sum U_i I_i$  tức là số liệu của P (công suất tác dụng). Số liệu công suất tác dụng được đưa vào bộ thanh ghi về công suất tác dụng (24 bit) số liệu này có thể chuyển ra ngoài theo cổng SPI.

Ngoài ra Analog devicer còn bố trí một bộ biến đổi số thành tần số (DFC) để có tần số lấy ra CF dùng cho việc khắc độ thiết bị. Đường thứ 2 được đưa đến bộ bình phương sau đó bộ lọc thông thấp. Bộ cộng (lấy trung bình) và bộ căn để cho ra số liệu về điện áp hiệu dụng của  $U_1$  và  $U_2$ . Số liệu này cũng được lấy ra ngoài qua cổng SPI.

Các giá trị hiệu dụng của cả 2 kênh được đưa vào nhân với nhau để cho ra số liệu tỷ lệ với công suất biểu kiến. Các số liệu tức thời cũng có thể lấy ra ngoài theo cổng SPI.

Ngoài ra trong ADE7753 còn bố trí mạch phát hiện qua điểm zero dùng để cho số liệu về chu kỳ hay tần số. Số liệu về  $\cos\phi$  được tính qua P và S :  $\cos\phi = \frac{P}{S}$

❖ Đặc tính kĩ thuật của ADE7753:

- Đầu vào 2 điện áp xoay chiều có thang đo lớn nhất 500 mV, thang đo bé nhất 7.81 mV. ADC có độ phân giải 16 bit
- Tín hiệu xoay chiều này có thể lấy giá trị tức thời với các tần số 3,5kHz, 7kHz, 14kHz và 27,9kHz
- Cả hai đầu vào có thể đo được giá trị hiệu dụng
- Kênh  $V_1$  có một tích phân số, cho phép đo được các đại lượng từ, các thông số động lực học của thiết bị.
- Chọn được tích tức thời của  $V_1 \cdot V_2$  cho phép ghi lại tình trạng công suất khi có sự cố trong hệ thống điện.
- Cho phép lấy trung bình của tích  $V_1 \cdot V_2$  để có công suất tác dụng thông qua thiết bị.
- Cho phép nhân  $V_{1rms}$  với  $V_{2rms}$  để có công suất biểu kiến. .
- Cho phép phát hiện điểm qua zero của lưới điện để làm mốc khởi đầu cho các phép tích lũy, cho phép đo tần số lưới điện với độ phân giải cao.
- Cho phép tính hệ số công suất  $\cos\phi$ .

- ADE7753 hỗ trợ hiệu chỉnh tại các điểm cần thiết, có thể hiệu chỉnh tại các khâu khác nhau như hiệu chỉnh offset tín hiệu đầu vào, hiệu chỉnh giá trị hiệu dụng, hiệu chỉnh độ khuếch đại tín hiệu đầu ra(chân CF) giúp điều chỉnh các thông số một cách chính xác, đáp ứng yêu cầu độ chính xác cao và đảm bảo sự linh hoạt trong quá trình vận hành..

### 2.3.3.1. Tính công suất và năng lượng tác dụng

Công suất được định nghĩa là tốc độ truyền năng lượng từ nguồn cung cấp đến thiết bị tiêu thụ.

Công thức tính công suất tức thời được thể hiện như sau:

$$p(t) = u(t) \times i(t) = UI \cos \varphi - UI \cos(2\omega t + \varphi) \quad (2-10)$$

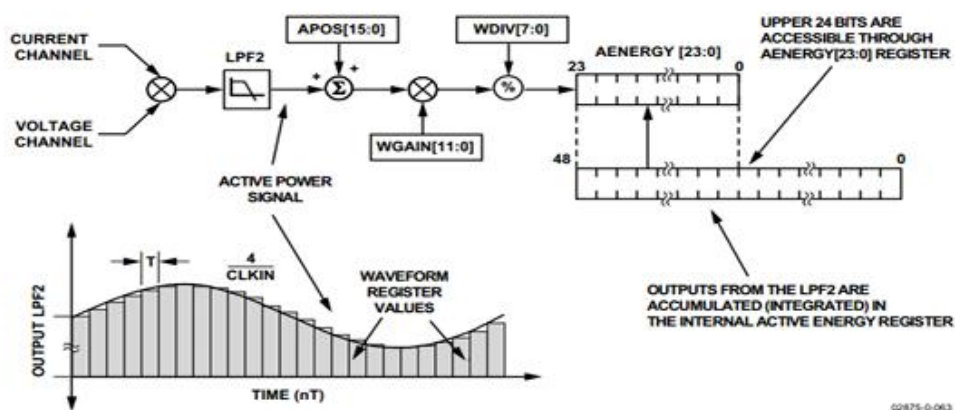
Giá trị trung bình của công suất:

$$P = \frac{1}{nT} \int_0^{nT} p(t) dt = UI \cos \varphi \quad (2-11)$$

Trong đó, các giá trị của công thức là như sau:

- T là chu kỳ của tín hiệu điện đầu vào
- P là công suất tác dụng trung bình của tín hiệu đầu vào
- U, I là điện áp hiệu dụng, dòng điện hiệu dụng
- p(t) tín hiệu công suất tác dụng theo thời gian, được xác định bằng tích của u(t) và i(t)

Tín hiệu công suất tức thời p(t) chứa một thành phần một chiều, đó là công suất tác dụng. Để tính công suất tác dụng, ADE7753 thực hiện theo sơ đồ sau:

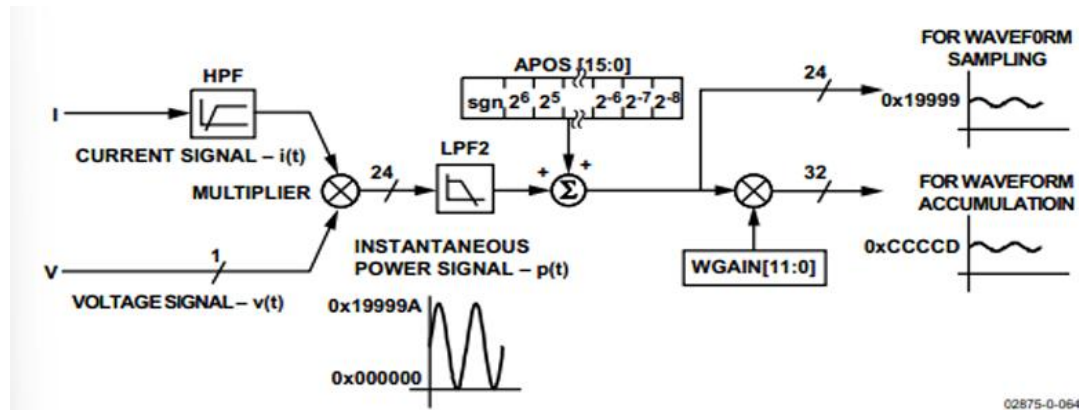


Hình 10 Sơ đồ tính toán công suất tác dụng trong ADE7753

Do công suất được định nghĩa là tỉ lệ dòng chảy của năng lượng nên ta có mối quan hệ giữa công suất và năng lượng được thể hiện qua công thức:

$$E = \int p(t)dt = \lim_{t \rightarrow 0} \left\{ \sum_{n=1}^{\infty} p(nT) \times T \right\} \quad (2-12)$$

Hình 11 thể hiện nguyên lý đo công suất và năng lượng tác dụng của ADE7753



Hình 11 Sơ đồ đo năng lượng tác dụng trong ADE7753

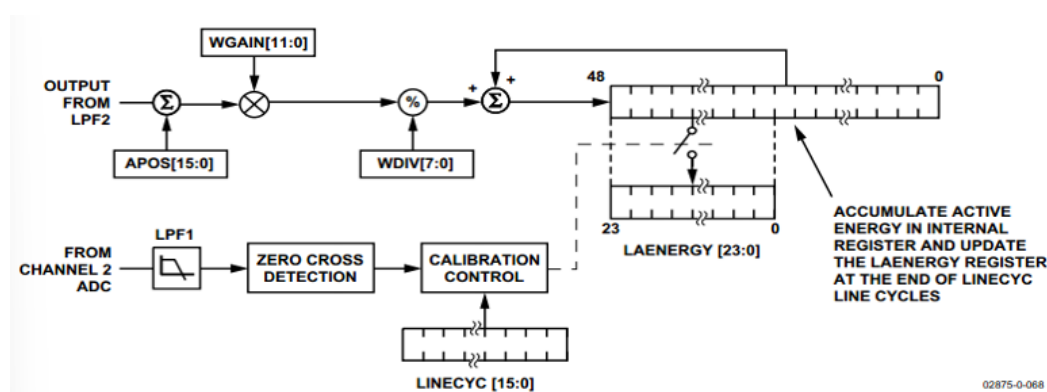
Tín hiệu số sau khi qua bộ  $\Sigma\Delta$ ADC được qua bộ nhân tín hiệu để đưa ra giá trị công suất tức thời. Sau khi tín hiệu đầu ra của ADE7753 đã đi qua bộ lọc thông thấp, nhiệm vụ của bộ lọc này là loại bỏ các tần số cao không mong muốn, giữ lại thành phần có giá trị ổn định và chính xác của công suất tác dụng. ADE7753 tiếp tục thực hiện phép tích phân công suất tức thời, quá trình này bao gồm việc liên tục tích lũy các tín hiệu công suất tác dụng đã được lọc. Công suất tác dụng tích lũy được chuyển thành giá trị năng lượng tác dụng và lưu trữ trong thanh ghi AENERGY [23:0], giúp ghi nhận tổng năng lượng tiêu thụ trong một khoảng thời gian nhất định.

Để đảm bảo độ chính xác cao trong quá trình đo, ADE7753 trang bị hai thanh ghi hiệu chỉnh quan trọng: APOS (16 bit có dấu) và WGAIN (12 bit có dấu). Các thanh ghi này giúp loại bỏ hiệu quả giá trị offset và thực hiện điều chỉnh công suất cũng như năng lượng đo được, đảm bảo rằng kết quả đầu ra không bị ảnh hưởng bởi các sai số không mong muốn trong quá trình đo lường. Điều này giúp nâng cao độ chính xác và tính ổn định của các phép đo công suất và năng lượng trong hệ thống.

Hơn nữa, ADE7753 hỗ trợ chế độ tích lũy năng lượng theo chu kỳ tín hiệu, được thiết kế nhằm giảm thiểu ảnh hưởng của các dao động tần số nhỏ không đáng

kể, mang lại kết quả chính xác hơn trong các ứng dụng yêu cầu đo năng lượng liên tục và ổn định. Để kích hoạt chế độ này, người dùng chỉ cần đặt bit 7 (CYCMODE=1) trong thanh ghi MODE, cho phép ADE7753 bắt đầu quá trình tích lũy năng lượng. Quá trình tích lũy năng lượng này sẽ diễn ra trong các chu kỳ tín hiệu liên tiếp, và kết quả sẽ được lưu trữ trong thanh ghi LAENERGY.

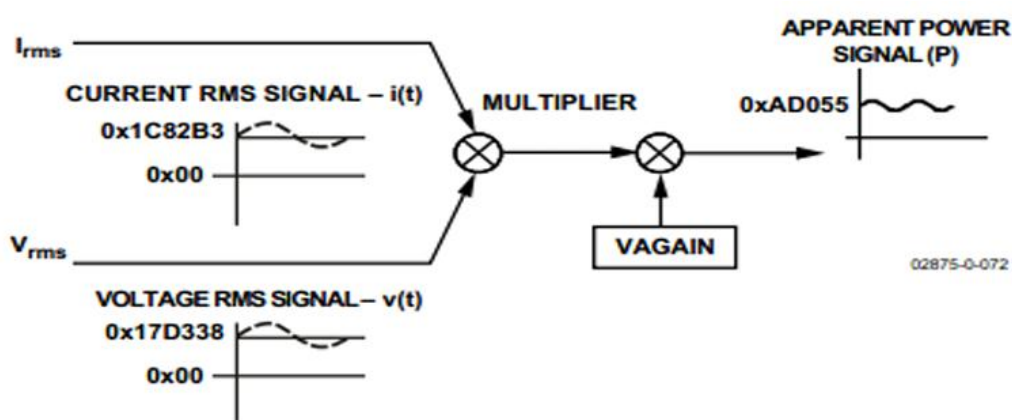
Số lượng chu kỳ tín hiệu cần thiết cho quá trình tích lũy được xác định bởi giá trị trong thanh ghi 16 bit LINECYC, cho phép người dùng điều chỉnh số chu kỳ tương ứng với yêu cầu của hệ thống. Sau khi quá trình tích lũy năng lượng hoàn tất, cờ báo ngắt CYCEND trong thanh ghi trạng thái sẽ được đặt thành 1, thông báo rằng quá trình tích lũy đã hoàn tất và có thể tiếp tục thực hiện các thao tác tiếp theo trong chu trình đo lường năng lượng. Chế độ tích lũy này giúp loại bỏ những biến động nhỏ và tăng cường độ chính xác của phép đo năng lượng, đặc biệt là trong các ứng dụng dài hạn và ổn định.



Hình 12 Sơ đồ tích lũy năng lượng tác dụng trong ADE7753

### 2.3.3.2. Tính công suất và năng lượng toàn phần

Công suất toàn phần (Apparent Power) là công suất cực đại mà có thể được phân phối tới tải. Công suất toàn phần được tính bằng cách tính tích của giá trị điện áp hiệu dụng và dòng điện hiệu dụng. Việc tính toán giá trị công suất biểu kiến trong ADE7753 được thể hiện qua Hình 13.



Hình 13 Sơ đồ đo công suất toàn phần trong ADE7753

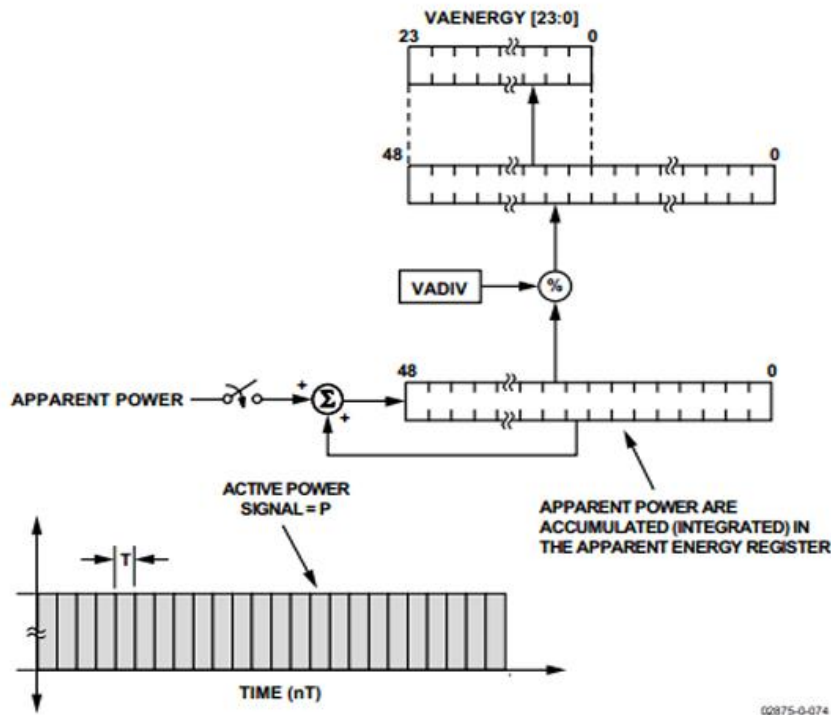
Năng lượng toàn phần (Apparent Energy) được tính thông qua việc lấy tích phân của công suất toàn phần mà ta đã đề cập ở trên.

$$ApparentEnergy = \int ApparentPower(t)dt = \lim_{T \rightarrow 0} \left\{ \sum_{T=0}^{\infty} ApparentPower(nT) \times T \right\} \quad (2-13)$$

ADE7753 thực hiện việc tích phân công suất toàn phần bằng việc tích lũy liên tục tín hiệu công suất toàn phần. Thanh ghi VAENERGY có nhiệm vụ lưu trữ giá trị năng lượng toàn phần. Việc này được ADE7753 thực hiện dựa trên sơ đồ trong hình 14.

Vì công suất toàn phần là tích giữa giá trị dòng điện hiệu dụng và điện áp hiệu dụng, mà năng lượng toàn phần chính là tích phân của công suất toàn phần nên việc hiệu chỉnh năng lượng toàn phần có thể được thực hiện thông qua hiệu chỉnh điện áp và dòng điện hiệu dụng. Cũng giống như các đại lượng khác, năng lượng toàn phần có thể hiệu chỉnh để bù sai số thông qua thanh ghi VAGAN.





Hình 14 Sơ đồ tính năng lượng toàn phần trong to ADE7753

### 2.3.3.3. Tính dòng điện hiệu dụng

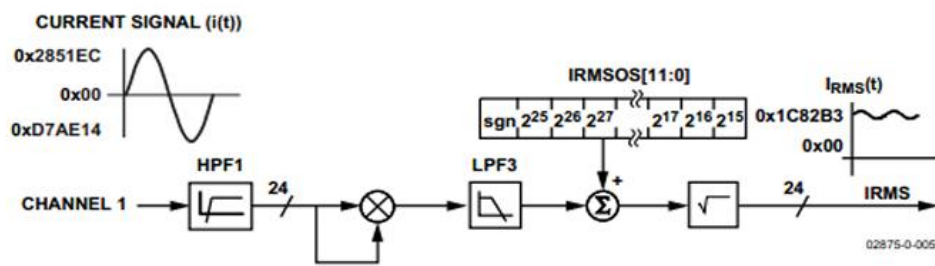
Giá trị hiệu dụng của tín hiệu  $V(t)$  được xác định bởi công thức:

$$VRMS = V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \times \int_0^T V^2(t) dt} \quad (2-14)$$

Giá trị hiệu dụng của tín hiệu sau khi trích mẫu được xác định bởi công thức:

$$VRMS = V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \times \sum_{i=1}^N V^2(i)} \quad (2-15)$$

ADE7753 tính toán đồng thời giá trị hiệu dụng cho kênh 1 và kênh 2 ở các thanh ghi khác nhau. Đối với kênh 1 ( dòng điện), việc xử lý tín hiệu và tính toán giá trị hiệu dụng của nó được ADE7753 thực hiện theo sơ đồ hình 15.



Hình 15 Sơ đồ tính toán dòng hiệu dụng trong ADE7753

Giá trị dòng điện hiệu dụng được lưu trữ trong thanh ghi không dấu 24 bit IRMS

Ở chế độ đầu vào lớn nhất (0.5V) thì giá trị thanh ghi IRMS đạt được là 1868467d (0x1C82B3).

ADE7753 cho phép đo dòng điện hiệu dụng với độ chính xác cao, đạt khoảng 0,5%, trong khi dải đo đầu vào của kênh 1 trải dài từ mức full-scale/100 cho đến mức full-scale (toàn thang). Điều này cho phép đo lường dòng điện hiệu dụng trong phạm vi rất rộng và đảm bảo tính chính xác cao cho các ứng dụng yêu cầu đo lường dòng điện. Bên cạnh tính năng đo dòng hiệu dụng, ADE7753 cũng hỗ trợ điều chỉnh giá trị dòng điện hiệu dụng để bù đắp các sai lệch không mong muốn bằng cách sử dụng thanh ghi 12 bit IRMSOS, cho phép người dùng thực hiện hiệu chỉnh offset một cách linh hoạt. Sau khi thực hiện điều chỉnh này, giá trị dòng điện hiệu dụng có thể được tính toán theo công thức sau, phản ánh chính xác hơn giá trị dòng điện thực tế trong hệ thống.

$$IRMS = \sqrt{IRMS_0^2 + IRMSOS \times 32768} \quad (2-16)$$

#### 2.3.3.4. Tính điện áp hiệu dụng

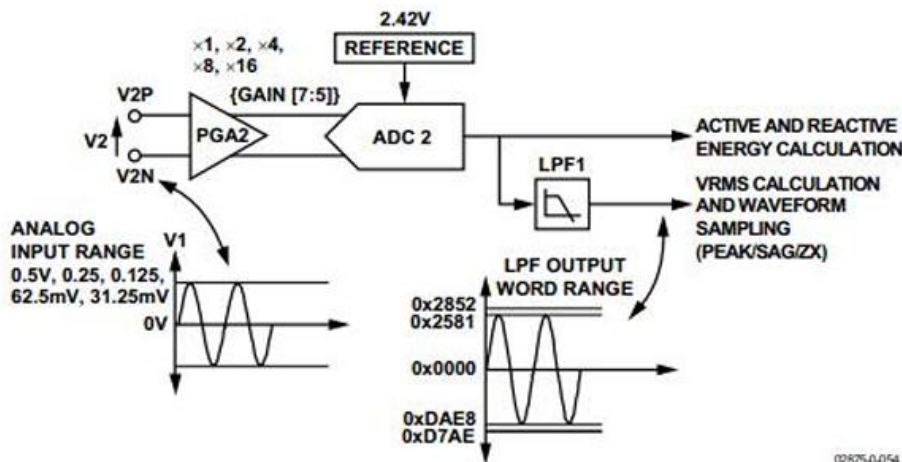
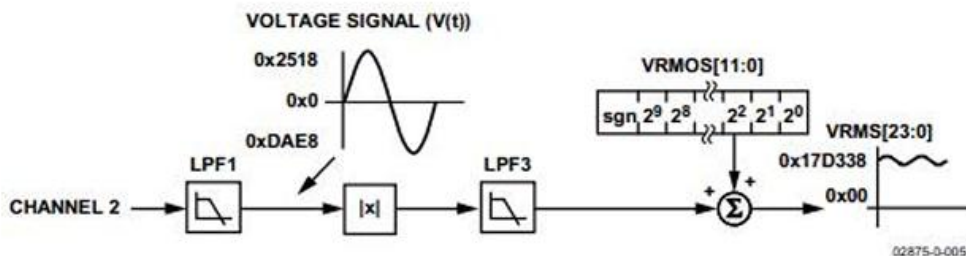


Figure 55. ADC and Signal Processing in Channel 2



Hình 16 Sơ đồ tính toán điện áp hiệu dụng trong ADE7753

Giá trị điện áp hiệu dụng được lưu trữ trong thanh ghi không dấu 24 bit VRMS

Ở chế độ đầu vào lớn nhất (0.5V) thì giá trị thanh ghi VRMS đạt được là 1561400d (0x17D338).

ADE7753 cho phép đo điện áp hiệu dụng với độ chính xác lên đến 0,5%, trong dải đo đầu vào của kênh 1 từ mức full-scale/20 đến full-scale. Điều này mang lại khả năng đo điện áp hiệu dụng trong phạm vi rộng, đồng thời đảm bảo độ chính xác tối ưu. Bên cạnh đó, giá trị điện áp hiệu dụng có thể được điều chỉnh offset thông qua thanh ghi 12 bit VRMSOS, giúp loại bỏ sai lệch trong quá trình đo. Sau khi hiệu chỉnh, giá trị điện áp hiệu dụng có thể được tính toán theo công thức sau, đảm bảo kết quả đo chính xác hơn.:

$$VRMS = VRMS_0 + VRMSOS \quad (2-17)$$

Ngoài ra giá trị điện áp hiệu dụng có thể được chỉnh định qua thanh ghi CH2OS.

#### **2.3.4 Truyền thông nối tiếp trong ADE7753**

ADE7753 sử dụng giao thức SPI (Serial Peripheral Interface) để trao đổi dữ liệu với các thiết bị bên ngoài. Quá trình giao tiếp này được thực hiện thông qua bốn đường tín hiệu: DIN (Data In), DOUT (Data Out), SCLK (Serial Clock) và CS (Chip Select).

Việc điều khiển quá trình truyền nhận dữ liệu giữa ADE7753 và thiết bị ngoại vi được thực hiện thông qua một thanh ghi truyền thông 8 bit. Bit có trọng số lớn nhất (MSB) của thanh ghi này xác định hướng truyền dữ liệu, tức là thao tác đọc hay ghi. Sáu bit có trọng số nhỏ nhất (LSB), được ký hiệu từ A0 đến A5, chứa địa chỉ của thanh ghi mà thiết bị muốn truy cập.

ADE7753 giao tiếp nối tiếp bằng bốn tín hiệu: SCLK, DIN, DOUT và CS. SCLK là xung clock đồng bộ, hỗ trợ cả sườn lên và sườn xuống. Các hoạt động truyền và nhận dữ liệu đều lấy xung nhịp từ SCLK. Dữ liệu vào (DIN) được lấy mẫu ở sườn xuống của SCLK, và dữ liệu ra (DOUT) được truyền ra ngoài. Chân CS đóng vai trò là chân chọn chip. Chân này đặc biệt hữu ích trong trường hợp có nhiều thiết bị cùng chia sẻ một bus SPI. Một xung sườn xuống tại chân CS sẽ đồng thời đặt lại (reset) ADE7753 và kích hoạt chế độ truyền thông. Để quá trình truyền dữ liệu diễn ra liên tục và không bị gián đoạn, chân CS cần được giữ ở mức logic thấp trong suốt quá trình truyền. Nếu chân CS được giữ ở mức logic cao trong khi

truyền dữ liệu, hoạt động truyền sẽ bị bỏ qua và bus nối tiếp sẽ chuyển sang trạng thái trở kháng cao.

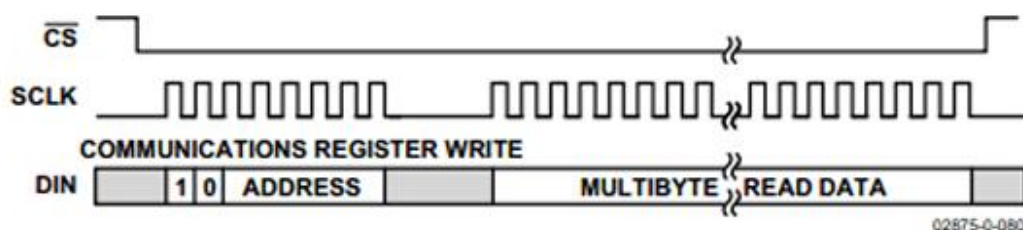
Trong trường hợp chỉ có một thiết bị ADE7753 kết nối với bus SPI, chân CS có thể được giữ ở mức thấp liên tục. Tuy nhiên, nếu chân CS luôn ở mức thấp, trước khi có hoạt động truyền dữ liệu mới thì hoạt động truyền dữ liệu hiện tại phải được hoàn thành.

#### *2.3.4.1. Quá trình ghi dữ liệu*

Quá trình truyền dữ liệu nối tiếp liên tục vào ADE7753, khi thiết bị đã ở trạng thái truyền thông, được thực hiện theo các bước sau:

1. **Ghi vào thanh ghi truyền thông:** Để truyền thông từ vi xử lý đến ADE7753, bước đầu tiên là ta cần chuyển dữ liệu đến thanh ghi truyền thông của ADE7753. Bit MSB (bit có trọng số lớn nhất) của dữ liệu này phải được đặt là 1 để báo hiệu cho ADE7753 biết rằng đây là thao tác ghi dữ liệu vào một thanh ghi bên trong. Các bit LSB (bit có trọng số nhỏ nhất) sẽ xác định địa chỉ của thanh ghi đích mà dữ liệu sẽ được ghi vào.
2. **Khởi động truyền dữ liệu:** Việc truyền dữ liệu bắt đầu bằng tín hiệu sườn xuống của xung nhịp SCLK.
3. **Truyền dữ liệu theo từng byte:** Dữ liệu được truyền vào ADE7753 theo từng byte (8 bit) một. Mỗi byte dữ liệu sẽ được đưa vào cổng nối tiếp thông qua chân DIN (Data In).
4. **Thời gian chờ giữa các byte:** Sau khi một byte đã được truyền vào cổng nối tiếp, cần có một khoảng thời gian chờ tối thiểu trước khi byte đó được chuyển đến thanh ghi đích bên trong chip ADE7753. Mặc dù về mặt kỹ thuật, một byte mới có thể được truyền đến cổng nối tiếp trong khi byte trước đó vẫn đang trong quá trình chuyển đến thanh ghi, việc truyền byte mới không được kết thúc sớm hơn 4  $\mu$ s (micro giây) sau khi byte trước đó

được truyền đi. Điều này đảm bảo rằng dữ liệu được xử lý một cách chính xác và tránh xung đột dữ liệu.



Hình 17 Quá trình ghi dữ liệu của ADE7753

#### 2.3.4.2. Quá trình đọc dữ liệu

Dữ liệu từ ADE7753 được xuất ra thông qua chân DOUT, đồng bộ với sườn lên của xung nhịp SCLK. Tương tự như quá trình ghi, thao tác đọc dữ liệu cũng cần được thiết lập trước bằng cách ghi vào thanh ghi truyền thông.

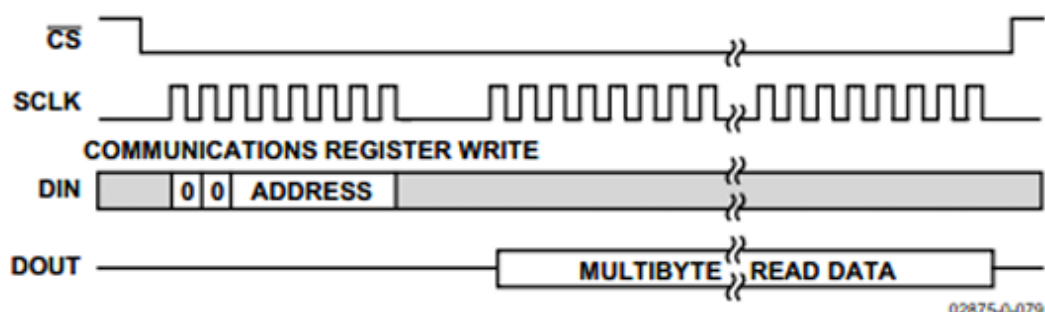
Khi ADE7753 đang ở chế độ truyền thông (chân CS ở mức logic thấp), một byte dữ liệu được ghi vào thanh ghi truyền thông để chuẩn bị cho thao tác đọc. Để xác định giao tiếp là đọc hay ghi vào ADE7753, người ta dựa vào giá trị của bit MSB là 0 hay 1. Địa chỉ của thanh ghi là đối tượng cần giao tiếp được chứa trong các LSB.

Khi có sườn lên tiếp theo, ADE7753 sẽ bắt đầu xuất dữ liệu. Tại thời điểm này, chân DOUT chuyển từ trạng thái trở kháng cao sang trạng thái hoạt động và bắt đầu truyền dữ liệu lên bus. Khi có tín hiệu sườn lên tiếp theo của SCLK, các bit còn lại sẽ được xuất ra ngoài.

Để trở lại trạng thái truyền thông, quá trình đọc cần được hoàn thành. Lúc này, chân DOUT sẽ trở về trạng thái trở kháng cao trên sườn xuống của xung nhịp SCLK cuối cùng trong chu kỳ đọc. Muốn hủy bỏ quá trình đọc, cần đưa chân CS lên mức cao. Khi đó, chân DOUT sẽ chuyển sang trạng thái trở kháng cao.

Nếu thanh ghi nào được chọn để đọc, nội dung của chúng sẽ được chuyển đến cổng nối tiếp. Điều này cho phép ADE7753 thực hiện các thay đổi trên thanh ghi nội bộ mà không làm ảnh hưởng đến dữ liệu đang được đọc.

Điều quan trọng cần lưu ý là khoảng thời gian giữa thao tác ghi lệnh đọc (vào thanh ghi truyền thông) và bắt đầu quá trình đọc thực sự không nên nhỏ hơn 4  $\mu$ s. Nếu lệnh đọc được gửi đi trong vòng 4  $\mu$ s sau khi kết thúc quá trình ghi byte cuối cùng, có thể dẫn đến việc mất dữ liệu của byte đó.



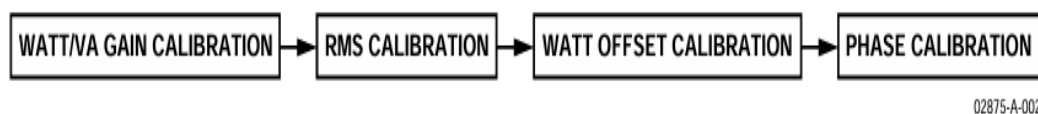
Hình 18 Quá trình đọc dữ liệu của ADE7753

### 2.3.5 Hiệu chỉnh và bù sai số

Để đảm bảo độ chính xác trong đo lường điện năng, việc hiệu chỉnh sai pha giữa các thành phần công suất (tác dụng, toàn phần và phản kháng) là rất quan trọng. Khi sử dụng điện trở shunt để đo dòng điện, thường không cần bù offset và hiệu chỉnh pha. Việc hiệu chỉnh này có thể được thực hiện bằng một trong hai phương pháp: sử dụng công tơ chuẩn hoặc nguồn chuẩn. Trong phương pháp sử dụng công tơ chuẩn, tần số xung đầu ra CF từ ADE7753 được điều chỉnh để tương ứng với số đọc của công tơ chuẩn, với mỗi xung CF biểu diễn một lượng năng lượng đã được tích lũy. Nếu hiệu chỉnh bằng nguồn chuẩn, chế độ tích lũy năng lượng theo chu kỳ cần được bật. Tần số đầu ra xung CF được điều chỉnh thông qua hai thanh ghi CFNUM và CFDEN. Chế độ cộng dồn chu kỳ của ADE7753 mang lại lợi ích đáng kể trong việc đo lường năng lượng tác dụng bằng cách cung cấp một giá trị năng lượng ổn định, ít bị ảnh hưởng bởi nhiễu gợn sóng. Khả năng cộng dồn lên đến 65535 nửa chu kỳ cho phép tính trung bình trên một khoảng thời gian dài, từ đó giảm thiểu sai số và nâng cao độ chính xác. Thời gian cộng dồn này được tính toán dựa trên thông tin từ hai thanh ghi: PERIOD (đo chu kỳ điện áp) và LINECYC (xác định số lượng nửa chu kỳ cộng dồn).

Để hiệu chỉnh năng lượng biểu kiến (S), cần hiệu chỉnh offset và hệ số khuếch đại. Offset, ảnh hưởng đến cả điện áp và dòng điện hiệu dụng, được hiệu chỉnh bằng cách đo giá trị khi không có tải rồi trừ vào kết quả đo. Hệ số khuếch

đại bù trừ sai số phần cứng, được hiệu chỉnh bằng nguồn chuẩn. Việc hiệu chỉnh đồng thời cả hai giúp đo S chính xác. Hình 19 minh họa cách tối ưu hiệu chỉnh năng lượng tác dụng (P), giá trị hiệu dụng và S.



Hình 19 Các bước hiệu chỉnh năng lượng tác dụng và năng lượng toàn phần của ADE7753

Để hiệu chỉnh hệ số khuếch đại cho năng lượng tác dụng và năng lượng biểu kiến, quy trình bao gồm việc đồng thời đọc giá trị từ hai thanh ghi: thanh ghi tích lũy từ cả hai thanh ghi này sau đó được sử dụng để tính toán và điều chỉnh các hệ số khuếch đại tương ứng.

Hình 20 thể hiện việc hiệu chỉnh một phần năng lượng tác dụng.



Hình 20 Quá trình hiệu chuẩn năng lượng tác dụng

ADE7753 không cung cấp cách thức để hiệu chỉnh hệ số khuếch đại và bù giá trị offset cho năng lượng phản kháng. Một phần năng lượng phản kháng có thể được hiệu chỉnh ngoài qua MCU.

#### 2.3.5.1. Hiệu chỉnh hệ số khuếch đại cho năng lượng tác dụng

Bước đầu tiên để hiệu chỉnh hệ số khuếch đại là xác định điện áp cấp, dòng điện kiểm tra và dòng điện lớn nhất cho ổ cắm. Một hằng số công tơ cần để xác định xung đầu ra CF xung CF này dùng để hiển thị điện năng trong các công tơ. Trong phần này, em đề cập đến tần số đầu ra xung CF để phục vụ cho việc tính toán. Có thể tùy chọn hằng số công tơ để hiệu chỉnh cũng như xác định xung đầu ra của CF. Ví dụ ta chọn hằng số công tơ là 3200imp/KWh hay 3.2imp/Wh.

Tần số chân CF mong muốn:

$$CF_{\text{expected}}(Hz) = \frac{\text{MeterConstant}(\text{imp/Wh}) \times \text{load}(W)}{3600(s/h)} \times \cos \varphi \quad (2-18)$$

Trong đó:  $\varphi$  là góc lệch pha giữa I và V.

$\cos \varphi$  là hệ số công suất (PF).

MetterConstant: Hằng số công tơ

Tỉ lệ giữa số LSB năng lượng tác dụng trên 1 xung CF đầu ra được điều chỉnh bằng cách cài đặt các hệ số CFNUM, CFDEN và WDIV trong thanh ghi tương ứng.

$$CF_{\text{expected}}(Hz) = \frac{LAENERGY}{t_{ac}(s)} \times WDIV \times \frac{CFNUM + 1}{CFDEN + 1} \quad (2-19)$$

Trong đó  $t_{ac}$  là thời gian tích lũy (Accumulation Time).  $t_{ac}$  được xác định từ giá trị của chu kỳ dòng điện và số nửa chu kỳ dòng điện được cài đặt trong thanh ghi LINECYC. Ta có:

$$t_{ac}(s) = \frac{LINECYC_{IB} \times T(s)}{2} \quad (2-20)$$

Trong đó  $T$  là chu kỳ tín hiệu (lineperiod) được xác định theo công thức:

$$T(s) = PERIOD \times \frac{8}{CLKIN} \quad (2-21)$$

Khi đó ta có biểu thức liên quan giữa Wh được tích lũy và giá trị đọc về từ thanh ghi AENERGY:

$$Wh/LSB = \frac{LOAD(W) \times t_{ac}(s)}{LAENERGY \times 3600s/h} \quad (2-22)$$

Tỉ số Wh/LSB cho thanh ghi năng lượng AENERGY cũng có thể được tính theo công thức sau:

$$Wh/LSB = \frac{\frac{CFNUM + 1}{CFDEN + 1} \times WDIV}{MeterConstant \times t_{imp}/Wh} \quad (2-23)$$

Thanh ghi WGAIN được sử dụng để hiệu chỉnh độ khuếch đại cho năng lượng tác dụng. Hiệu chỉnh thanh ghi WGAIN thay đổi cả CF và AENERGY cho 1 điều kiện tải xác định.

$$AENERGY_{\text{expected}} = AENERGY_{\text{nominal}} \times \left(1 + \frac{WGAIN}{2^{12}}\right) \quad (2-24)$$

$$CF_{\text{expected}} = CF_{\text{nominal}} \times \frac{CFNUM + 1}{CFDEN + 1} \times \left(1 + \frac{WGAIN}{2^{12}}\right) \quad (2-25)$$

Khi hiệu chỉnh với một công tơ chuẩn, WGAIN được điều chỉnh đến khi xung đầu ra CF tương ứng với xung đầu ra của công tơ chuẩn. Nếu sử dụng nguồn chuẩn để hiệu chỉnh thì WGAIN được xác định đến khi giá trị năng lượng tác dụng tương ứng với xung CF đầu ra.



❖ Hiệu chỉnh WGAIN sử dụng 1 công tơ chuẩn

Giá trị CFDEN và CFNUM cho thiết kế được ghi vào thanh ghi tương ứng trước khi bắt đầu các bước hiệu chỉnh.

Bước 1: Tính toán hệ số CFDEN thiết kế. Ghi giá trị vào CFDEN.

Bước 2: Đặt giá trị  $I_{\text{test}} = I_b$ ,  $V_{\text{test}} = V_{\text{nomal}}$ ,  $PF = 1$ .

Bước 3: Tính phần trăm lỗi xung CF đầu ra và xung CF đồng hồ chuẩn theo công thức:

$$\% \text{ERROR}_{\text{CF(Ib)}} = \frac{\text{CF}_{\text{Ib}} - \text{CF}_{\text{ref(Ib)}}}{\text{CF}_{\text{ref(Ib)}}} \quad (2-26)$$

Trong đó:  $\text{CF}_{\text{Ib}}$  là giá trị tần số xung đầu ra của đồng hồ đo.

$\text{CF}_{\text{ref(Ib)}}$  là tần số xung đầu ra của công tơ chuẩn tại cùng đầu vào kiểm tra.

Bước 4: Tính giá trị WGAIN theo công thức:

$$\text{WGAIN} = \text{INT} \left( - \frac{\% \text{ERROR}_{\text{CF(Ib)}}}{0.0244\%} \right) \quad (2-27)$$

❖ Hiệu chỉnh WGAIN sử dụng nguồn chuẩn

Hiệu chuẩn WGAIN với nguồn chuẩn được thực hiện qua các bước:

Bước 1: Tính toán giá trị CFDEN, CFNUM sau đó ghi vào các giá trị tương ứng.

Bước 2: Đặt giá trị  $\text{ITEST} = \text{IB}$ ,  $\text{VTEST} = \text{VNOM}$ ,  $\text{PF} = 1$

Bước 3: Ghi giá trị số nguyên lần chu kỳ vào thanh ghi LINCYCE

Bước 4: Chọn chế độ tích lũy năng lượng theo chu kỳ và bật cờ báo ngắt CYCEND.

Bước 5: Xóa toàn bộ ngắt bằng cách đọc thanh ghi RSTSTATUS và chờ ngắt xảy ra.

Bước 6: Bỏ qua kết quả đọc về lần 1 thanh ghi LAENERGY. Reset lại giá trị thanh ghi trạng thái ngắt, chờ ngắt và đọc kết quả LAENERGY về.

Bước 7: Giá trị thanh ghi đọc về được so sánh với giá trị  $\text{LAENERGY}_{\text{expected}}$  để đưa ra hệ số WGAIN.

Công thức tính WGAIN được thể hiện qua:

$$WGAIN = INT \left( \left( \frac{LAENERGY_{lb(expected)}}{LAENERGY_{lb(nominal)}} - 1 \right) \times 2^{12} \right) \quad (2-28)$$

Trong đó  $LAENERGY_{lb(nominal)}$  là giá trị thanh ghi đọc về.  $LAENERGY_{lb(expected)}$  được xác định bằng công thức:

$$LAENERGY_{lb(expected)} = INT \left( \frac{CF_{lb(expected)} \times t_{ac}(s)}{\frac{CFNUM + 1}{CFDEN + 1} \times WDIV} \right) \quad (2-29)$$

Trong đó  $CF_{lb(expected)}$  được xác định bằng công thức 2-10,  $t_{ac}$  được tính toán dựa trên công thức 2-20.

#### 2.3.5.2. Watt offset

Để hiệu chỉnh giá trị offset cho phép đo công suất cần sử dụng hai tải thuần trở (hệ số công suất PF=1) một tải có dòng điện bằng dòng định mức I1 và một tải có dòng điện bằng dòng điện nhỏ nhất, cần hiệu chỉnh I2. Sau một số chu kỳ, sai lệch năng lượng này chính là sai lệch offset. Việc hiệu chỉnh offset được tiến hành sau khi tiến hành hiệu chỉnh hệ số watt again.

Hiệu chỉnh offset được thể hiện bởi việc xác định tỉ lệ phần trăm lỗi của năng lượng tác dụng. Một khi đã xác định được tỉ lệ phần trăm lỗi của năng lượng tác dụng thì giá trị của thanh ghi APOS sẽ được tính bằng công thức:

$$APOS = - \frac{AENERGYErrorRate \times 2^{35}}{CLKIN} \quad (2-30)$$

#### ❖ Hiệu chỉnh watt offset sử dụng công tơ chuẩn

Để hiệu chỉnh watt offset sử dụng công tơ chuẩn ta thực hiện qua các bước sau:

Bước 1: Thiết lập thông số đầu vào ITEST=IMIN, VTEST=VNOM, PF=1 cho thiết bị thiết kế và công tơ chuẩn.

Bước 2: Tính phần trăm lỗi giữa 2 CF đầu ra (%ERRORCF(IMIN)) dựa theo công thức 2-26.

Bước 3: Tính AENERGY Error Rate (phần trăm lỗi của năng lượng tác dụng) theo công thức:

$$\text{AENERGY Error Rate(LSB / s)} = \text{CF Absolute Error} \times \frac{\text{CFDEN} + 1}{\text{CFNUM} + 1}$$

Trong đó CF Absolute Error (phần trăm lỗi của xung đầu ra CF) được tính bởi công thức:

$$\text{CF Absolute Error} = (\% \text{ERROR}_{\text{CF(IMIN)}}) \times W_{\text{IMIN}} \times \frac{\text{MeterCons tan t(imp / Wh)}}{3600} \quad (2-31)$$

Bước 4: Tính giá trị APOS theo công thức 2-30.

#### ❖ Hiệu chỉnh watt offset sử dụng nguồn chuẩn

Các bước hiệu chỉnh watt offset được thực hiện theo các bước sau:

Bước 1: Đặt tải thuần trở có ITEST=IMIN, VTEST=VNOM, PF=1

Bước 2: Đọc giá trị LAENERGYIMIN từ thanh ghi LAENERGY.

Bước 3: Tính giá trị AENERGY Error Rate theo công thức:

$$\text{AENERGY Error Rate(LSB / s)} = \frac{\text{LAENERGY}_{\text{IMIN(nominal)}} - \text{LAENERGY}_{\text{IMIN(expected)}}}{\frac{\text{LINECYC}}{2}} \times \frac{\text{CLKIN}}{8 \times \text{PERIOD}} \quad (2-32)$$

Trong đó LAENERGYIMIN(expected) được xác định bằng công thức:

$$\text{LAENERGY}_{\text{IMIN(expected)}} = \text{INT} \left( \frac{I_{\text{MIN}}}{I_{\text{b}}} \times \text{LAENERGY}_{\text{Ib(expected)}} \times \frac{\text{LINECYCI}_{\text{MIN}}}{\text{LINECYCI}_{\text{b}}} \right) \quad (2-33)$$

. LINECYCI<sub>MIN</sub> là số nguyên lần nửa chu kỳ được thiết lập cho việc tích lũy năng lượng với tải đầu vào có dòng ITEST=IMIN.

#### 2.3.5.3. Hiệu chỉnh pha

Thanh ghi PHCAL được cung cấp để xóa những sai pha nhỏ. Bù sai pha trong ADE7753 được thực hiện bởi việc chèn thêm 1 khoảng thời gian trễ nhỏ hoặc nâng cao chất lượng đầu vào kênh áp.

Sử dụng 2 tải có tổng trở như nhau, nhưng khác nhau về hệ số công suất, ví dụ 1 tải có hệ số công suất là 1, 1 tải có hệ số công suất là 0.5 để hiệu chỉnh độ lệch pha.

Khi đó sai lệch pha được xác định bằng công thức:

$$\text{Error} = \frac{\frac{\text{LAENERGY}_{\text{Ib,PF=0.5}}}{2} - \frac{\text{LAENERGY}_{\text{Ib(expected)}}}{2}}{\frac{\text{LAENERGY}_{\text{Ib(expected)}}}{2}} \quad (2-34)$$

Trong trường hợp đã tiến hành hiệu chỉnh giá trị offset và giá trị watt again thì chúng ta có thể tính sai pha theo công thức:

$$\text{Error} = \frac{\% \text{ERROR}_{\text{CF}(\text{IB}, \text{PF}=.5)}}{100} \quad (2-35)$$

Góc pha sai lệch được tính bằng công thức:

$$\text{PhaseError}(\circ) = -\text{Arcsin}\left(\frac{\text{Error}}{\sqrt{3}}\right) \quad (2-36)$$

Biểu thức liên hệ giữa giá trị thanh ghi PHCAL và Phase Error được xác định bởi công thức:

$$\text{PHCAL} = \text{INT}\left(\text{PhaseError}(\circ) \times \frac{\text{PERIOD}}{360^\circ}\right) + 0 \times 0\text{D} \quad (2-37)$$

#### ❖ Hiệu chỉnh pha sử dụng công tơ chuẩn

Để hiệu chỉnh pha sử dụng công tơ chuẩn ta tiến hành theo các bước sau:

Bước 1: Thiết lập thông số đầu vào ITEST=IMIN, VTEST=VNOM, PF=0.5 cho thiết bị thiết kế và công tơ chuẩn.

Bước 2: Tính phần trăm lỗi giữa 2 CF đầu ra  $\% \text{ERROR}_{\text{CF}(\text{IB}, \text{PF}=.5)}$  dựa theo công thức 2-24

Bước 3: Tính PHCAL theo công thức 2-37.

#### ❖ Hiệu chỉnh pha sử dụng nguồn chuẩn

Để hiệu chỉnh pha sử dụng nguồn chuẩn ta thực hiện theo các bước sau:

Bước 1: Đặt tải thuần trở có ITEST=IIB, VTEST=VNOM, PF=0.5

Bước 2: Đọc giá trị LAENERGY<sub>Ib,PF=.5</sub> từ thanh ghi LAENERGY.

Bước 3: Tính giá trị Error dựa theo công thức: 2-35

Bước 4: Tính PHCAL theo công thức 2-37.

#### 2.3.5.4. Hiệu chỉnh VRMS

$$\text{VRMS} = \text{VRMS0} + \text{VRMSOS} \quad (2-38)$$

Trong đó:

VRMS0: Giá trị RMS đo được khi không offset

VRMS: tuyến tính từ full-scale đến giá trị full-scale/20

Các bước tiến hành calib:

❖ Đo  $V_{nominal}(V_1)$  và  $V_{nominal}/10(V_2)$

❖ VRMSOS được tính dựa trên công thức:

$$VRMSOS = \frac{V_1 \times VRMS_2 - V_2 \times VRMS_1}{V_2 - V_1} \quad (2-39)$$

❖ Nếu giá trị thanh ghi VRMSOS không đủ thì ta có thể chỉnh offset thanh ghi CH2OS

#### 2.3.5.5. Hiệu chỉnh IRMS

$$IRMS^2 = IRMS0^2 + 32768 \times IRMSOS$$

Trong đó:

IRMS0: Giá trị RMS đo được khi không có offset.

IRMS: Tuyến tính trong dải từ full – scale đến  $\frac{\text{full} - \text{scale}}{100}$ .

Các bước tiến hành calib:

- ✓ Đo 2 giá trị  $I_1$  và  $I_2$
- ✓ IRMSOS được tính bởi công thức:

$$IRMSOS = \frac{1}{32768} \times \frac{I_1^2 \times IRMS_2 - I_2^2 \times IRMS_1}{I_2^2 - I_1^2} \quad (2-40).$$

## 2.4 Công nghệ truyền thông Wifi và giao thức truyền tin MQTT

### 2.4.1 Công nghệ truyền thông Wifi

WiFi (Wireless Fidelity) là một công nghệ truyền thông không dây, sử dụng sóng vô tuyến để truyền dữ liệu giữa các thiết bị trong mạng. Đây là một trong những công nghệ nền tảng của các hệ thống IoT (Internet of Things) và mạng cảm biến không dây (Wireless Sensor Networks - WSN).



Hình 21 Công nghệ Wifi trong nhà thông minh

❖ Nguyên lý hoạt động

WiFi hoạt động dựa trên nguyên tắc truyền dẫn tín hiệu vô tuyến ở các băng tần **2.4 GHz** và **5 GHz**.

Dữ liệu được truyền qua các gói tin và được mã hóa để đảm bảo tính bảo mật, đồng thời sử dụng kỹ thuật điều chế sóng (OFDM, DSSS) để tăng hiệu quả truyền dẫn.

❖ **Cấu trúc mạng WiFi**

**Mạng cơ sở hạ tầng (Infrastructure Mode):** Các thiết bị (station) kết nối với nhau thông qua một điểm truy cập trung tâm (Access Point - AP), tạo thành một mạng tập trung.

**Mạng ngang hàng (Ad-hoc Mode):** Các thiết bị giao tiếp trực tiếp với nhau mà không cần thông qua AP, phù hợp cho các mạng nhỏ hoặc tạm thời.

**Mạng Mesh:** Các thiết bị trong mạng liên kết theo cấu trúc mắt lưới, tăng khả năng mở rộng vùng phủ sóng và đảm bảo tính ổn định khi một số nút mạng bị lỗi.

❖ **Chuẩn WiFi**

WiFi được chuẩn hóa bởi IEEE với các phiên bản **802.11** như:

**802.11b/g/n (2.4 GHz):** Phạm vi phủ sóng xa nhưng tốc độ thấp hơn.

**802.11ac/ax (WiFi 5/6) (5 GHz):** Tốc độ truyền dữ liệu cao hơn, phù hợp cho các ứng dụng đòi hỏi băng thông lớn.

**WiFi 6 (802.11ax)** hỗ trợ công nghệ MU-MIMO và OFDMA, giúp cải thiện hiệu suất và giảm độ trễ trong các hệ thống IoT.

## 2.4.2 Giao thức truyền tin MQTT

MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) là một giao thức truyền thông lớp ứng dụng, được thiết kế để truyền tải dữ liệu với độ tin cậy cao trong các hệ thống IoT. Đây là giao thức tối ưu cho các thiết bị hạn chế về tài nguyên như cảm biến hoặc vi điều khiển.

❖ **Nguyên lý hoạt động:**

MQTT hoạt động dựa trên mô hình **Client-Server**, trong đó:

- **Broker** (máy chủ trung gian): Đóng vai trò nhận, lưu trữ và định tuyến các thông điệp giữa các thiết bị.
- **Client** (thiết bị IoT): Đóng vai trò gửi (Publish) hoặc nhận (Subscribe) dữ liệu qua các kênh chủ đề (Topic).

❖ **Cơ chế hoạt động Publish/Subscribe:**

**Publish:** Một thiết bị gửi dữ liệu đến một chủ đề cụ thể trên broker.

**Subscribe:** Một hoặc nhiều thiết bị khác đăng ký các chủ đề liên quan để nhận dữ liệu khi có thay đổi.

Mô hình này cho phép giảm tải tài nguyên trên các thiết bị nhờ việc quản lý giao tiếp tập trung tại broker.

## 2.5 Kết luận chương

Trong chương này, em đã nêu ra được nguyên lý đo của chip đo ADE7753 các đại lượng dòng điện, điện áp, năng lượng tác dụng và năng lượng toàn phần, việc tính toán công suất hiệu dụng và công suất toàn phần em tính toán thông qua hai đại lượng năng lượng nói trên. Em cũng đưa ra lý thuyết về hiệu chỉnh kết quả

đo cho ADE7753 dựa trên tài liệu gốc của hãng. Đưa ra kiến thức cơ bản về Wifi và MQTT để phục vụ cho các chương tiếp theo

## CHƯƠNG 3. PHÂN TÍCH VÀ THIẾT KẾ PHẦN CỨNG CHO Ổ CẮM

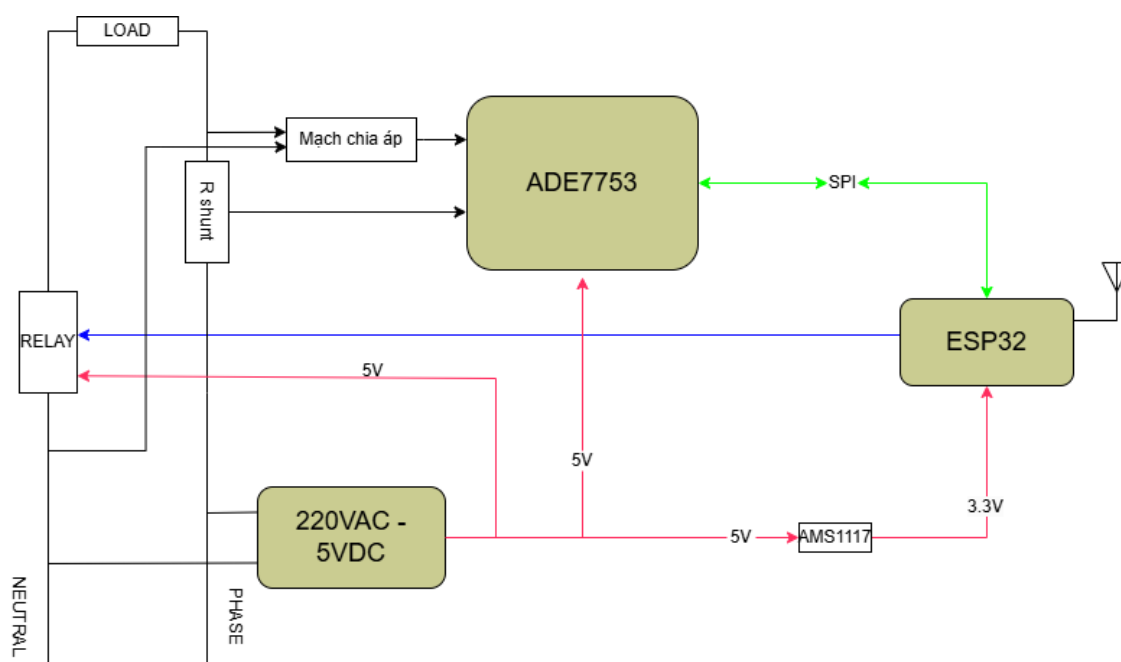
### 3.1 Yêu cầu bài toán

Thiết kế ổ cắm điện thông minh với các chức năng sau:

- ✓ Thực hiện các chức năng đo các thông số của nguồn điện, của tải
- ✓ Khả năng lấy mẫu tín hiệu theo yêu cầu ( $> 10\text{KHz}$ )
- ✓ Gửi dữ liệu đo được lên nền tảng IOT Platform để phân tích và giám sát
- ✓ Cơ chế lưu trữ dữ liệu tại MCU khi có sự cố kết nối
- ✓ Kết nối mạng Wifi để truyền tin
- ✓ Điều khiển đóng cắt, hẹn giờ, điều khiển từ xa
- ✓ Bảo mật
- ✓ Đóng vỏ cho thiết bị

### 3.2 Sơ đồ khối ổ cắm điện

Khi công tơ hoạt động thì điện áp và dòng điện được lấy mẫu riêng biệt đưa vào IC chuyên dụng ADE7753 để tính công suất, năng lượng, điện áp... Các giá trị sau đó được lưu trữ vào các thanh ghi tương ứng. Vì điều khiển thực hiện giao tiếp với ADE7753 qua chuẩn giao tiếp SPI để đọc giá trị thanh ghi để xử lý, lưu trữ trong bộ nhớ FLASH của chip. Sau đó truyền thông lên nền tảng Thingsboard để lưu trữ và xử lý.



Hình 22 Sơ đồ khối chi tiết cho thiết bị



### 3.2.1 Khối vi điều khiển trung tâm

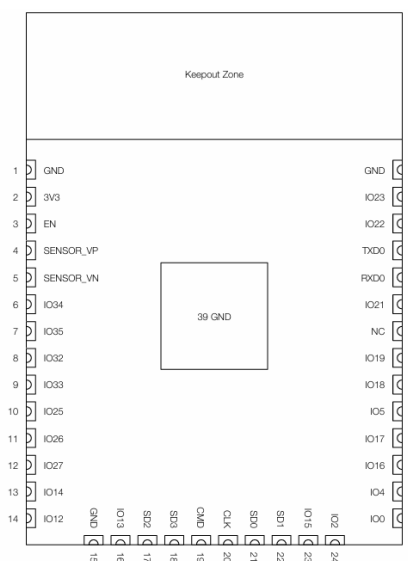
#### 3.2.1.1. Yêu cầu lựa chọn

Khối vi điều khiển trung tâm(MCU) được lựa chọn trong đồ án phải phù hợp với các tiêu chí sau:

- ✓ Có cổng giao tiếp SPI với ADE7753 để truyền nhận dữ liệu
- ✓ Tích hợp ăngten để truyền nhận thông tin bằng wifi
- ✓ Bộ nhớ flash lớn để lưu trữ thông tin khi có sự cố

Từ những yêu cầu trên, vi điều khiển ESP32 là một lựa chọn phù hợp

#### 3.2.1.2. Vi điều khiển ESP – WROOM32D [4]



Hình 23 Sơ đồ chân của vi điều khiển ESP – WROOM32D

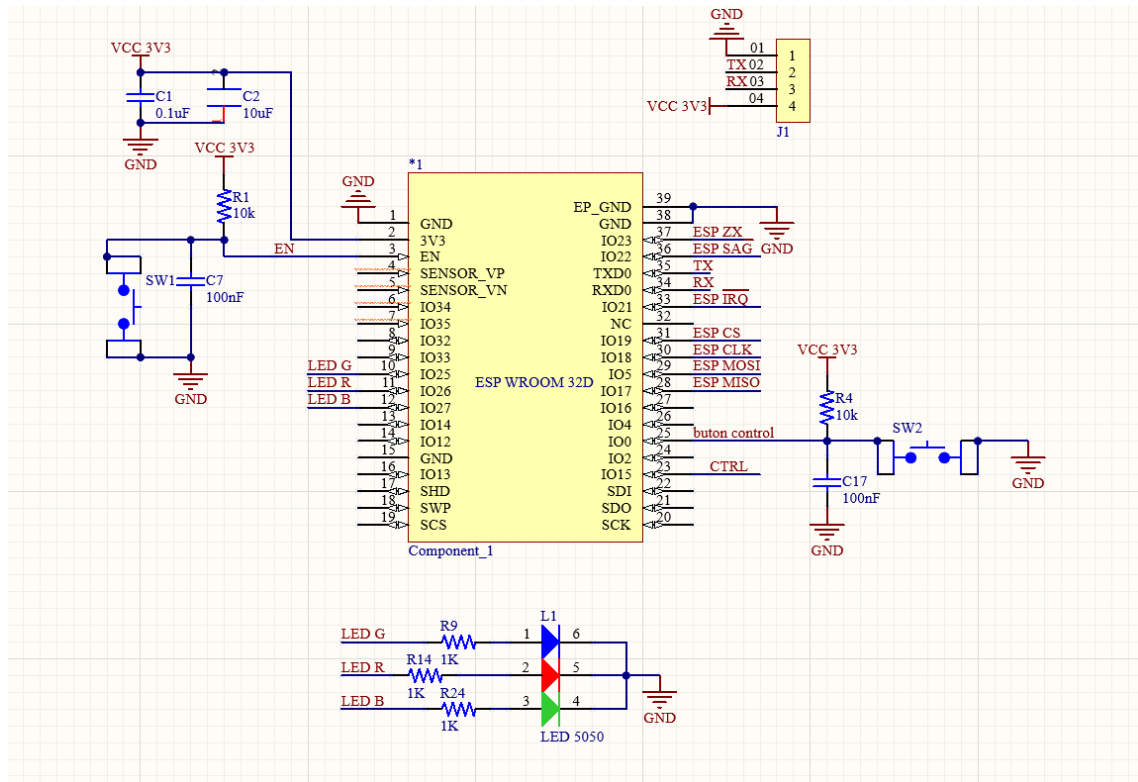
Các tính năng nổi bật của ESP – WROOM32D

- ✓ Tích hợp giao tiếp SPI với ADE7753  
ESP32 hỗ trợ giao tiếp SPI với tốc độ cao, cho phép kết nối và trao đổi dữ liệu nhanh chóng với ADE7753 – một IC chuyên dụng trong đo lường năng lượng. SPI cung cấp:
  - Tốc độ truyền dữ liệu cao: Đảm bảo đọc các thông số năng lượng (điện áp, dòng điện, công suất, v.v.) chính xác và kịp thời.
  - Tính linh hoạt: ESP32 có thể kết nối đồng thời với nhiều thiết bị ngoại vi thông qua các kênh SPI riêng biệt.
- ✓ Kết nối Wi-Fi tích hợp

ESP32 được tích hợp ăng-ten Wi-Fi, giúp thực hiện truyền và nhận dữ liệu qua mạng không dây mà không cần thêm module ngoại vi. Các ưu điểm của kết nối Wi-Fi trên ESP32:

- Hỗ trợ đa chế độ: Có thể hoạt động ở cả chế độ Station (STA) để gửi dữ liệu lên server, hoặc Access Point (AP) để thiết lập điểm truy cập cục bộ.
  - Hỗ trợ giao thức MQTT/HTTP: Thích hợp để truyền dữ liệu đo lường năng lượng đến hệ thống quản lý hoặc ThingsBoard.
  - Tính ổn định cao: Wi-Fi hoạt động hiệu quả trong khoảng cách xa và môi trường công nghiệp.
- ✓ Bộ nhớ flash lớn để lưu trữ dữ liệu
- ESP32 tích hợp bộ nhớ flash lên đến 4MB (hoặc lớn hơn tùy phiên bản), đảm bảo khả năng lưu trữ dữ liệu khi:
- Mất kết nối Wi-Fi: Dữ liệu đo lường được lưu trữ tạm thời trong bộ nhớ flash, đảm bảo không mất dữ liệu quan trọng.
  - Ghi log vận hành: Bộ nhớ đủ lớn để lưu trữ nhật ký hệ thống và các giá trị đo lường phục vụ phân tích.
- ✓ Giải điện áp hoạt động
- 3.0V - 3.6V: Đây là mức điện áp cung cấp cho ESP32 để hoạt động ổn định.
- **Điện áp tối ưu:** 3.3V (thông thường dùng bộ nguồn hoặc mạch ổn áp để cung cấp).

### 3.2.1.3. Thiết kế khối xử lý trung tâm (MCU ESP32)



Hình 24 Sơ đồ nguyên lý khối xử lý trung tâm (MCU ESP32)

Nguồn cung cấp 3.3V được đưa vào chân 3,3V của modul (pin 2), đất được nối tại các chân GND của modul (các pin 1,15,38,39).

Thiết kế nguồn nối với đất qua các tụ Bypass có nhiệm vụ lọc nhiễu cao tần cho nguồn nuôi vi điều khiển. Lựa chọn các cặp tụ có điện dung  $C = 100\text{nF}$  và  $C = 10\mu\text{F}$ .

Reset ESP32 được thực hiện khi chân EN (Enable) hạ từ mức logic 1 xuống 0.

- Thiết kế mạch reset ngoài:
  - Điện trở kéo lên:  $R = 10\text{k}\Omega$ .
  - Tụ điện:  $C = 100\text{nF}$ , giúp tạo xung reset ngắn nhưng đủ để tái khởi động ESP32.

Mạch nạp cho ESP32

ESP32 hỗ trợ nạp chương trình thông qua cổng UART để nạp cũng như debug chương trình

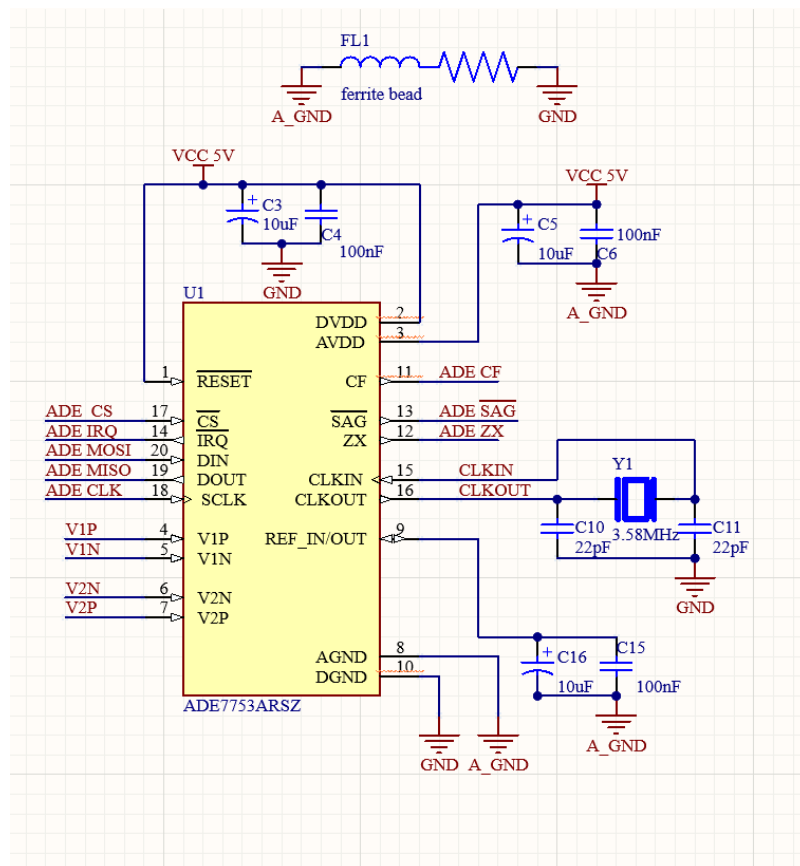
- Nạp qua UART:
  - Header thiết kế: 3.3V, GND, TXD, RXD.
  - Kết nối với máy tính qua bộ chuyển đổi UART-to-USB (CPI340)

### 3.2.2 Khối cảm biến điện ADE7753

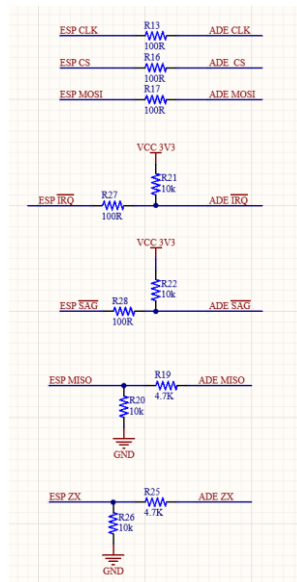
Khối ADE7753 có chức năng thu thập tín hiệu dòng điện, điện áp để xử lý đưa ra các giá trị về dòng điện hiệu dụng, điện áp hiệu dụng, chu kỳ, công suất và năng lượng. Các giá trị sau khi tính toán được lưu vào các thanh ghi tương ứng. ADE7753 cung cấp giao thức SPI phục vụ việc đọc, ghi dữ liệu với vi điều khiển. Yêu cầu thiết kế của khối ADE7753:

- ✓ Chống nhiễu cho mạch.
- ✓ ADE7753 và MCU giao tiếp với nhau qua chuẩn truyền thông SPI và các chân xử lý ngắt. Tuy nhiên, giữa 2 IC lại không hoàn toàn tương thích với nhau về mức logic. Vì vậy trong thiết kế phải đảm bảo mức logic giữa 2 IC.
- ✓ Đảm bảo cung cấp nguồn cho ADE7753 hoạt động.

Với những yêu cầu thiết kế trên, sơ đồ nguyên lý khối ADE7753 được thể hiện qua



Hình 25 Sơ đồ nguyên lý cảm biến ADE7753



Hình 26 Sơ đồ nguyên lý mạch giao tiếp SPI

Chip ADE7753 sử dụng 2 điểm tham chiếu đất khác nhau là AGND (đất tương tự) và DGND (đất số). Nếu nối chung đơn thuần chúng với nhau, sẽ có những nhiễu ảnh hưởng qua lại giữa hai mạch này. Vì vậy, để hạn chế điều đó, theo khuyến cáo hai đất đó chỉ nên nối với nhau tại một điểm, em sử dụng cuộn lọc cao tần ferrite bead để làm cầu nối. Ferrite bead (hạt ferrite) là một linh kiện thụ động được sử dụng để lọc nhiễu cao tần trong mạch điện. Nó hoạt động như một cuộn cảm có trở kháng thay đổi theo tần số, giúp giảm nhiễu điện từ (EMI) và sóng hài không mong muốn.

✓ Nguyên lý hoạt động của hạt ferrite bead như sau:

- Ở tần số thấp (DC và tín hiệu tần số thấp), ferrite bead có trở kháng rất nhỏ nên không ảnh hưởng nhiều đến tín hiệu.
- Ở tần số cao (MHz đến GHz), ferrite bead có trở kháng cao do tổn hao từ tính, giúp hấp thụ và triệt tiêu nhiễu hiệu quả.

Giữa MCU và ADE7753 cần giao tiếp SPI, tuy nhiên, mức logic của 2 phần này là khác nhau, ADE7753 sử dụng mức logic 5V còn MCU sử dụng mức logic 3.3V nên cần sự chuyển đổi mức logic, vì chân SCLK, DIN và CS là tín hiệu từ MCU đến ADE7753 nên có thể không cần chuyển đổi mức logic, còn chân DOUT và chân ZX cần thực hiện việc chuyển đổi. Ở đây, em thực hiện việc chuyển đổi này thông qua các điện trở phân áp.

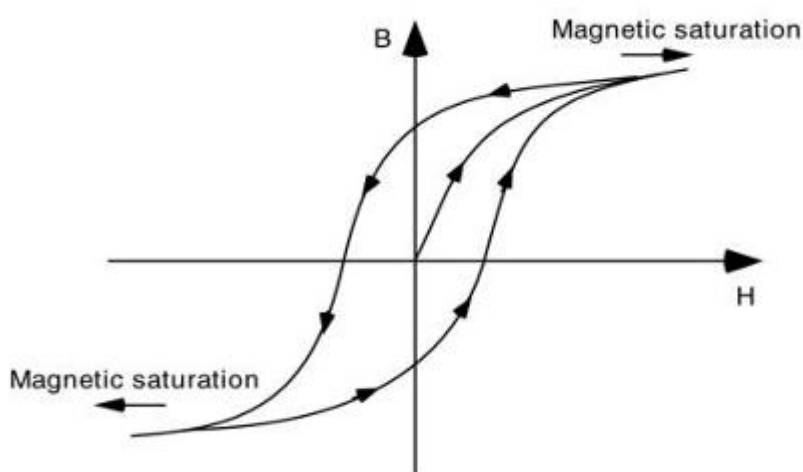
### 3.2.3 Khôi chuyển hóa dòng điện

Để có thể đo được dòng điện tại kênh 1, ta cần chuyển đổi giữa tín hiệu dòng điện thành tín hiệu điện áp để đưa vào giữa chân V1P và V1N của ADE7753. Theo datasheet của ADE7753, cảm biến được thiết kế để phù hợp với điện trở shunt, cuộn Roski và biến dòng CT

#### 3.2.3.1. Điện trở shunt

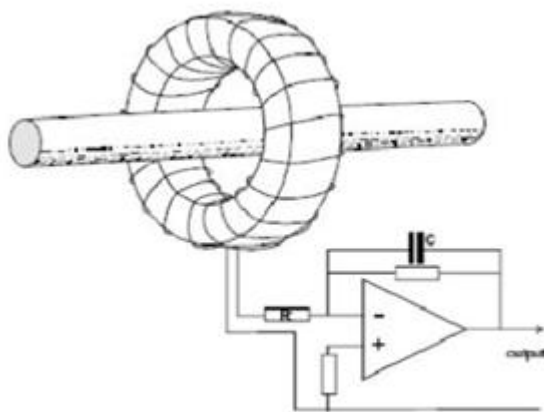
#### 3.2.3.2. Biến dòng

Biến dòng (CT) là thiết bị có khả năng chuyển đổi dòng điện sơ cấp thành dòng điện thứ cấp với tỷ lệ nhất định. CT cho phép đo dòng điện lớn mà chỉ tiêu thụ một lượng công suất nhỏ. Tuy nhiên, do ảnh hưởng của dòng từ hóa trong lõi từ, CT có thể làm dịch pha giữa tín hiệu dòng điện và điện áp, với sự thay đổi thường dao động từ  $0,1^\circ$  đến  $0,3^\circ$ . Nếu không được hiệu chỉnh đúng cách, điều này có thể dẫn đến sai số trong kết quả đo. Ngoài ra, lõi từ của CT có thể bị bão hòa khi làm việc ở tần số cao, gây ra sóng hài trong tín hiệu từ hóa, làm giảm độ chính xác của phép đo nếu không được khử từ. Hình 27 mô tả đường cong từ hóa của vật liệu ferrite. Hiện tượng bão hòa có thể xảy ra khi dòng điện sơ cấp vượt quá tỷ lệ cho phép của CT hoặc khi có thành phần dòng một chiều. Một cách để giảm thiểu bão hòa là sử dụng lõi ferrite với độ từ thẩm cao. Tuy nhiên, giải pháp này sẽ làm tăng góc dịch pha so với các CT sử dụng lõi sắt, là một nhược điểm cần lưu ý.



Hình 27 Đường cong từ hóa vật liệu ferrite

### 3.2.3.3. Cuộn dây Rogowski



Hình 28 Cuộn Rogowski

Cuộn Roski (hay còn gọi là cuộn Roski transformer, một loại biến áp đo lường) hoạt động dựa trên nguyên lý của cảm ứng điện từ, và được thiết kế để đo dòng điện hoặc điện áp mà không tiếp xúc trực tiếp với mạch điện. Đây là loại cảm biến dùng để đo dòng điện một chiều (DC) hoặc xoay chiều (AC) mà không cần cắt hay nối mạch.

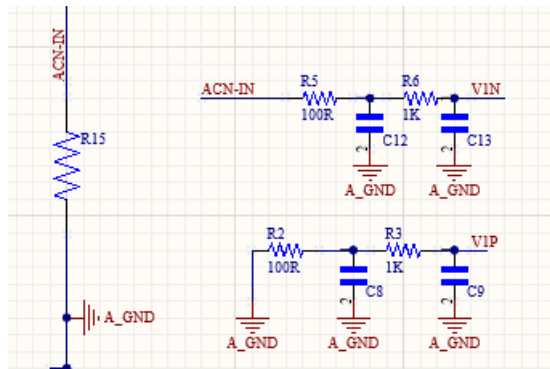
Nguyên lý hoạt động của cuộn Roski có thể được mô tả như sau:

- **Cảm ứng điện từ:** Cuộn Roski bao gồm một lõi từ và một cuộn dây (thường là dây đồng). Khi dòng điện chạy qua dây dẫn sơ cấp (dây dẫn có dòng điện cần đo) đặt gần cuộn Roski, nó tạo ra một từ trường xung quanh dây dẫn này. Từ trường này cảm ứng vào cuộn dây thứ cấp của cuộn Roski.
- **Chuyển đổi tín hiệu:** Sự thay đổi của từ trường sẽ gây ra dòng điện cảm ứng trong cuộn dây thứ cấp, và dòng điện này có tỷ lệ thuận với dòng điện sơ cấp. Cuộn dây thứ cấp này kết nối với các thiết bị đo, như đồng hồ đo dòng điện hoặc thiết bị chuyển đổi tín hiệu, giúp đo lường dòng điện sơ cấp mà không tiếp xúc trực tiếp với mạch.
- **Lọc và hiệu chỉnh:** Để đảm bảo tính chính xác của phép đo, cuộn Roski thường được trang bị thêm các bộ lọc và mạch hiệu chỉnh để giảm thiểu các yếu tố làm sai lệch kết quả đo, chẳng hạn như nhiễu tần số cao hay hiệu ứng từ hóa không mong muốn.

Rogowski không đo được dòng 1 chiều nhưng có thể đo được dòng xoay chiều lên đến hàng nghìn Amperes. Do không có lõi sắt (lõi không khí) nên Rogowski không phi tuyến trên dải đo rộng (từ vài mA đến hàng trăm A).

#### 3.2.3.4. Thiết kế mạch chuyển đổi dòng điện

Dựa vào các phân tích trên, em quyết định chọn điện trở shunt [5] để thiết kế cho mạch chuyển đổi dòng điện trong đồ án này.



Hình 29 Sơ đồ nguyên lý khối đầu vào kênh 1 (dòng điện)

- ✓ Tính toán điện trở shunt
- ✓ Dòng điện lớn nhất:  $I_{max} = 10A$
- ✓ Đầu vào V1P và V1N lớn nhất : 0,5V

Công thức tính điện trở shunt:

$$R_{shunt} = \frac{0,5}{\frac{PGAGAIN}{I_{max} \cdot I_{headroom} \cdot \sqrt{2}}} \quad (3-1)$$

Trong đó:

$R_{shunt}$ : giá trị của điện trở shunt

0,5 : giá trị tối đa đầu vào ADC kênh dòng điện

PGAGAIN: giá trị bộ khuếch đại kênh dòng điện

$I_{headroom}$  :Khoảng dự trữ tối đa của kênh dòng điện

$I_{max}$ : Giá trị tối đa IRMS đầu vào, bằng 10A.

Chọn khoảng dự trữ tối đa của kênh dòng điện là 1, hệ số khuếch đại của đầu vào ADC là 8 ta có giá trị điện trở shunt là:

$$R_{shunt} = \frac{\frac{0,5}{8}}{10 \cdot 1 \cdot \sqrt{2}} = 4,4 \text{ m}\Omega \quad (3-2)$$

Chọn 2 điện trở shunt 5 m $\Omega$  mắc song song, ta được giá trị điện trở shunt thực thể là



$$R_{shunt} = 2,5 \text{ m}\Omega \quad (3-3)$$

Từ đó, ta có độ dự trữ dòng điện là:

$$I_{headroom} = \frac{0,5}{I_{max} \cdot \sqrt{2} \cdot R_{shunt} \cdot PGAGAIN} \quad (3-4)$$

$$I_{headroom} = 1,77$$

### 3.2.4 Chuyển đổi điện áp

Để có thể đưa điện áp lưới 220V vào đầu vào kênh áp của ADE7753, ta có 2 phương pháp chính để có thể thực hiện đó là sử dụng máy biến áp hoặc phân áp bằng điện trở.

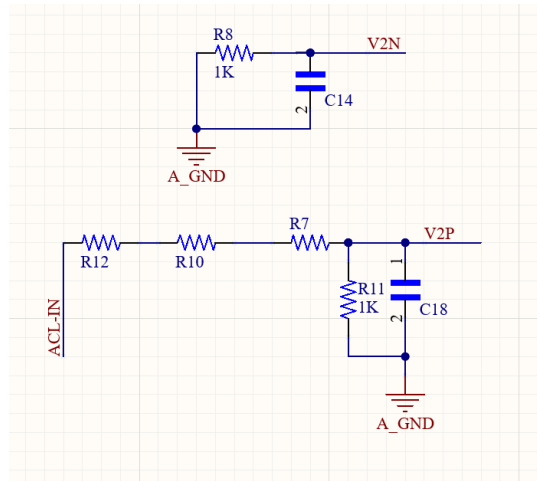
#### 3.2.4.1. Phân áp bằng biến áp

**Ưu điểm của việc phân áp bằng biến áp** là tính ổn định cao và khả năng điều chỉnh điện áp hiệu quả. Biến áp giúp duy trì điện áp ổn định cho các thiết bị, đồng thời bảo vệ mạch điện khỏi sự biến động về điện áp. Ngoài ra, biến áp có khả năng dễ dàng điều chỉnh điện áp đầu ra, đáp ứng các yêu cầu khác nhau của mạch điện. Một lợi ích nữa là biến áp cung cấp cách ly giữa mạch đầu vào và đầu ra, giúp bảo vệ thiết bị khỏi các sự cố về điện. Hiệu suất của biến áp cũng rất cao, thường lên đến 90% hoặc hơn, giúp tiết kiệm năng lượng và giảm thiểu tổn thất. Thêm vào đó, biến áp có thể chịu tải lớn, thích hợp cho các ứng dụng yêu cầu công suất cao. Tuy nhiên, **nhược điểm của việc phân áp bằng biến áp** là kích thước và trọng lượng lớn, đặc biệt đối với các biến áp có công suất cao, điều này có thể gây khó khăn trong việc sử dụng cho các thiết bị nhỏ gọn. Biến áp cũng gặp khó khăn khi làm việc ở tần số cao, làm giảm hiệu suất khi áp dụng vào các mạch điện tử hiện đại. Việc điều chỉnh điện áp qua biến áp có thể phức tạp và đắt tiền, và hiệu suất của biến áp sẽ giảm đáng kể nếu bị quá tải. Một nhược điểm nữa là biến áp có thể gây lệch pha giữa dòng điện và điện áp, điều này ảnh hưởng đến độ chính xác và hiệu quả của việc phân áp, đặc biệt trong các hệ thống yêu cầu sự đồng bộ giữa dòng và điện áp. Cuối cùng, chi phí đầu tư ban đầu cho một biến áp chất lượng cao có thể khá cao, đặc biệt là trong các ứng dụng công nghiệp.

#### 3.2.4.2. Phân áp sử dụng điện trở

**Ưu điểm:** Thiết kế mạch đơn giản, giá thành rẻ hơn so với phương án dùng máy biến áp.

Nhược điểm: Không cách ly được hoàn toàn với nguồn lưới điện.



Hình 30 Sơ đồ nguyên lý khối đầu vào kênh 2(điện áp)

### 3.2.4.3. Thiết kế mạch phân áp cho ADE7753

Từ những phân tích trên ta có thể thấy việc dùng mạch phân áp bằng trở là một cách phù hợp để đưa tín hiệu vào đầu vào kênh áp của ade7753.

<p>Mục đích của mạch phân áp là hạ áp từ 220VAC xuống điện áp nhỏ để có thể đưa vào đầu vào kênh điện áp</p> <p>Theo sơ đồ bên, ta có:</p> $\Rightarrow VP = \frac{V_{phase} \cdot V_{headroom} \cdot \sqrt{2}}{R_{big} + R_{small}} \cdot R_{small}$ $\Rightarrow \text{chọn } VP = 0.5 ; V_{phase} = 220 ;$ $R_{small} = 1k \Omega ; R_{big} = 1M\Omega$ $\Rightarrow V_{headroom} = 1.6 > 1$	
---	--

Hình 31 Sơ đồ phân áp kênh 2(điện áp)

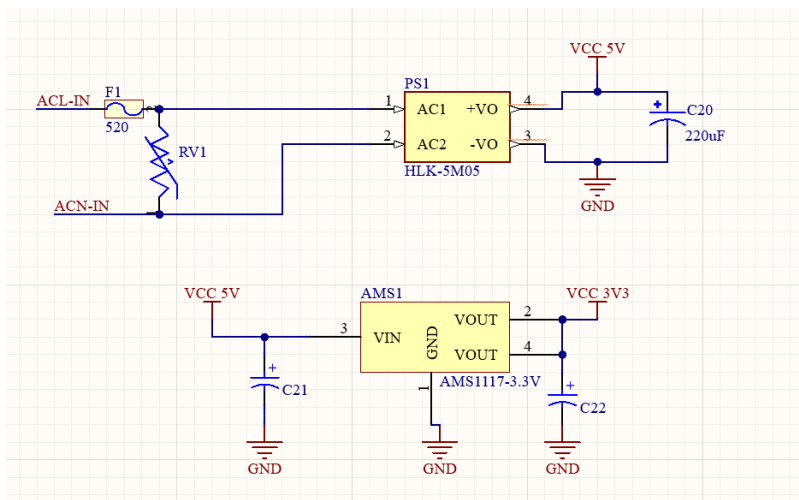
### 3.2.5 Khối nguồn

Cuối cùng, sau khi đã thiết kế xong các khối vi điều khiển trung tâm, khối cảm biến điện, ta cần thiết kế khối nguồn để cung cấp nguồn cho toàn bộ mạch

Khối nguồn thiết kế phải phù hợp với các tiêu chí sau:

- ✓ Cung cấp đủ năng lượng cho toàn bộ mạch hoạt động

- ✓ Tích hợp trên mạch
- ✓ Đầu vào 220VAC ( từ lưới điện)
- ✓ Đầu ra 5VDC cung cấp cho Relay đóng cắt, ADE7753, 3.3VDC cung cấp cho MCU ESP32
- ❖ Tính toán công suất cho mạch hoạt động
  - Dòng cung cấp lớn nhất cho ESP32 : 500mA
  - Dòng cung cấp lớn nhất cho ADE7753: 10mA
  - Dòng cung cấp lớn nhất cho Relay để đóng cắt: 100mA
- Tổng dòng tiêu thụ: 610mA, như vậy cần thiết kế nguồn cung cấp được dòng ít nhất 1A tương đương 5W để cho mạch hoạt động ổn định

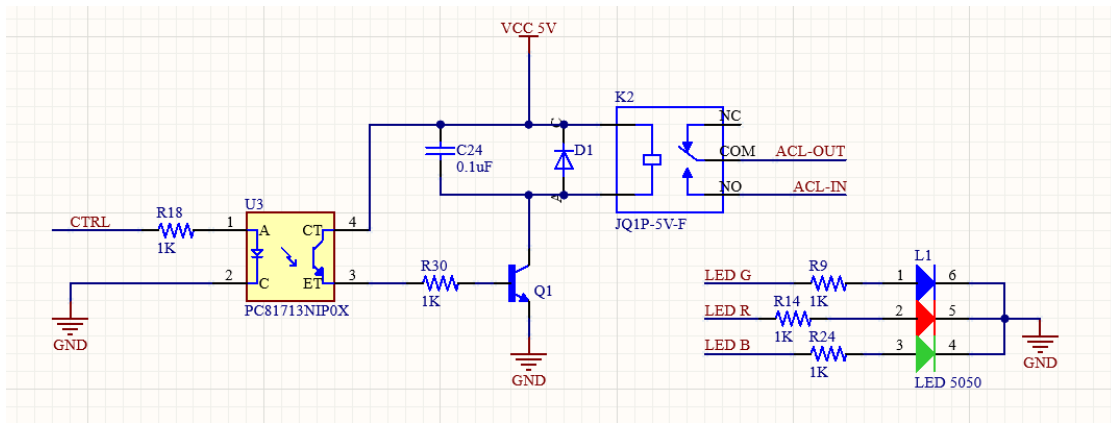


Hình 32 Sơ đồ nguyên lý khối nguồn cung cấp

Từ những yêu cầu trên, em quyết định lựa chọn modun nguồn HLK -5M05 của hãng HILINK Electronics [6] để có thể đưa điện áp từ 220VAC về 5VDC, sau đó, điện áp 5VDC được đưa qua AMS1117 để hạ áp về 3.3V cung cấp nguồn cho sự hoạt động của ESP32.

### 3.2.6 Các phần phụ

Ngoài cách khối chính như em đã nêu ra ở trên, em còn các thiết kế các mạch khác như khối đóng cắt và các LED báo các trạng thái như hình sau:



Hình 33 Sơ đồ nguyên lý khối đóng cắt

### Các thành phần chính

#### ✓ Relay:

- Relay là thiết bị điện từ dùng để điều khiển mạch điện có công suất lớn bằng tín hiệu điều khiển từ mạch điều khiển (thường là mạch điện tử có công suất thấp).
- Mạch điều khiển relay sẽ bật hoặc tắt mạch điện lớn bằng cách thay đổi trạng thái của tiếp điểm relay.

#### ✓ Transistor

- Transistor đóng vai trò như một công tắc điện tử, giúp điều khiển dòng điện chạy qua cuộn dây của relay. Khi có tín hiệu điều khiển từ mạch điều khiển (thường là một mức điện áp thấp), transistor sẽ kích hoạt relay.
- Transistor giúp làm việc với các tín hiệu điều khiển có công suất nhỏ, thay vì trực tiếp dùng tín hiệu có dòng điện lớn, giúp bảo vệ các linh kiện điều khiển.

#### ✓ PC817 (Optocoupler):

- PC817 là một optocoupler, hay còn gọi là quang cách ly, giúp tách biệt điện áp cao và thấp trong mạch. Khi có tín hiệu điều khiển (thường là tín hiệu điện áp thấp), LED trong PC817 sẽ sáng lên, tạo ra tín hiệu quang để kích hoạt phototransistor của PC817.
- Phototransistor trong PC817 sau đó sẽ đóng vai trò như một công tắc, giúp truyền tín hiệu từ phía điều khiển sang mạch relay mà không có kết nối điện trực tiếp giữa hai mạch, giúp bảo vệ mạch điều khiển khỏi các tín hiệu nguy hiểm (như điện áp cao hoặc nhiễu).

#### ❖ Nguyên lý hoạt động

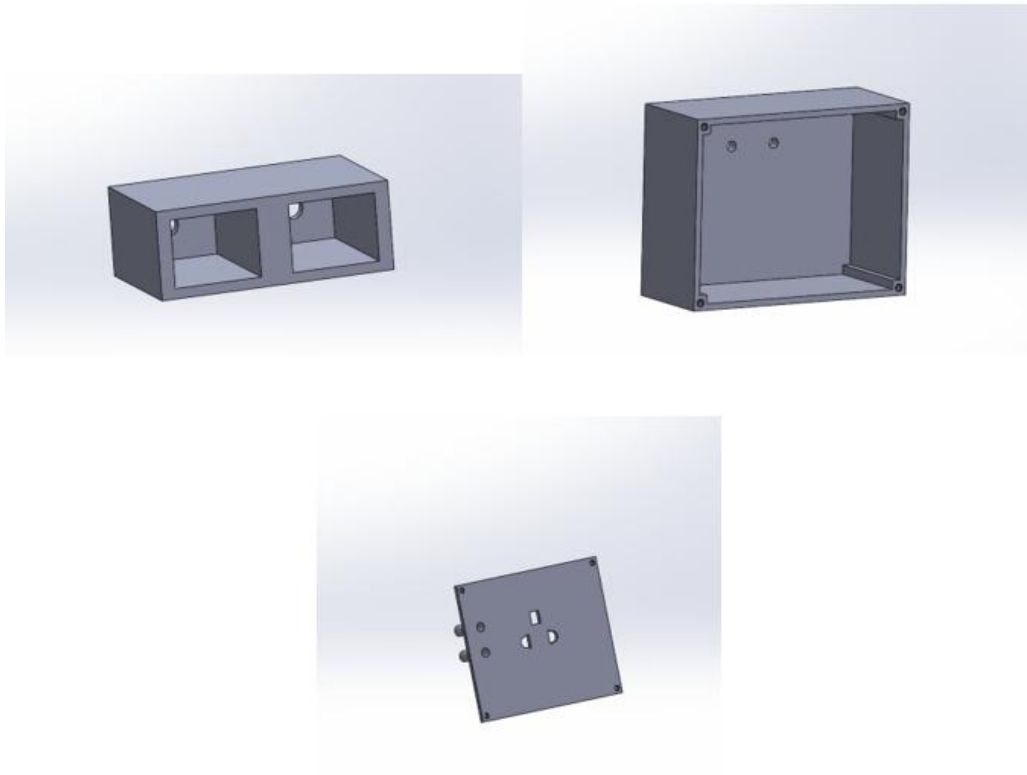
- Khi mạch điều khiển (PC hoặc vi điều khiển) gửi tín hiệu vào chân điều khiển của PC817, LED trong optocoupler sáng lên và tạo ra tín hiệu quang.
- Tín hiệu quang này được chuyển thành tín hiệu điện ở phần phototransistor của PC817, giúp đóng hoặc mở mạch điện của transistor.
- Khi transistor dẫn điện (bởi tín hiệu từ PC817), cuộn dây của relay được cấp nguồn và kích hoạt tiếp điểm của relay.
- Tiếp điểm relay có thể điều khiển một thiết bị hoặc mạch có công suất lớn hơn, ví dụ như bật/tắt một thiết bị điện

### 3.3 Đóng vỏ cho thiết bị

Việc đóng vỏ cho ổ điện là một việc không thể thiếu. Nó có một số ưu điểm chính sau:

- ✓ Bảo vệ an toàn cho người sử dụng
  - Vỏ ổ cắm điện đóng vai trò ngăn cách giữa các linh kiện điện tử bên trong và người sử dụng, giảm nguy cơ chạm trực tiếp vào các phần dẫn điện, tránh bị điện giật.
  - Một số vỏ ổ cắm hiện đại được trang bị thêm các cơ chế an toàn như cửa che lỗ cắm, chỉ mở khi cắm đúng phích, đặc biệt hữu ích trong các gia đình có trẻ em.
- ✓ Chống cháy nổ và chịu nhiệt
  - Vỏ ổ cắm được làm từ các vật liệu cách điện có khả năng chịu nhiệt cao (như nhựa ABS, polycarbonate) giúp giảm nguy cơ cháy nổ trong trường hợp quá tải hoặc đoản mạch
  - Thiết kế cách nhiệt cũng ngăn chặn sự lan truyền nhiệt từ các thiết bị tiêu thụ điện lớn, bảo vệ an toàn trong quá trình sử dụng.
- ✓ Bảo vệ linh kiện bên trong
  - Vỏ ổ cắm bảo vệ các linh kiện bên trong khỏi các tác nhân bên ngoài như bụi bẩn, độ ẩm, hoặc tác động vật lý. Điều này giúp tăng tuổi thọ của thiết bị và đảm bảo hiệu suất ổn định.

Em đã sử dụng phần mềm solidworks và in mạch 3D để có thể chế tạo vỏ phù hợp với kích thước của mạch thật



*Hình 34 Các thành phần của vỏ hộp*

### **3.4 Kết luận chương**

Trong chương này, em đã nêu ra được toàn bộ chỉ tiêu và đi thiết kế các phần cho ổ cắm: Khối MCU, khối đo điện, giao tiếp SPI, nguồn cung cấp,.. và đóng vỏ cho thiết bị. Các linh kiện được lựa chọn dựa trên yêu cầu về ứng dụng của thiết bị. Do thiết bị hoạt động bằng năng lượng ngay ở lưới điện 220V nên vấn đề về công suất tiêu thụ em không đề cập đến.

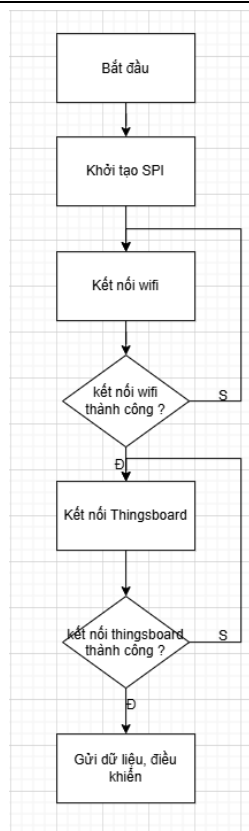
## CHƯƠNG 4. THIẾT KẾ PHẦN MỀM

Phần mềm của thiết bị cần đảm bảo các tiêu chí sau:

- ✓ Đọc dữ liệu từ cảm biến, tính toán các đại lượng cần thiết.
- ✓ Gửi dữ liệu lên Thingsboard khi có kết nối wifi
- ✓ Xử lý đóng cắt Relay để tắt bật thiết bị
- ✓ Lưu trữ dữ liệu khi mất kết nối wifi
- ✓ Khi có sự cố, lưu lại giá trị Wearform về dòng điện để gửi về nền Thingsboard để phân tích
- ✓ Ngoài ra, còn thực hiện chương trình để chuẩn hóa công tơ
- ✓ Thực hiện cập nhật phần mềm cho thiết bị khi có bản cập nhật mới.

### 4.1 Lưu đồ thuật toán cho chương trình chính của vi điều khiển

Lưu đồ thuật toán chương trình chính



Hình 35 Lưu đồ thuật toán chương trình chính

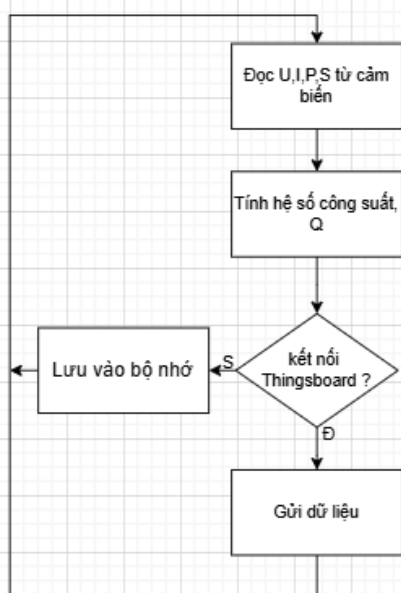
Nhiệm vụ của chương trình chính là thiết lập kết nối giữa ESP32 và Thingsboard để gửi dữ liệu và nhận lệnh từ Thingsboard.

Trong chương trình chính, việc kết nối đến Thingsboard được diễn ra liên tục, đảm bảo đường truyền và đáp ứng với tất cả các lệnh điều khiển từ người dùng điều khiển.

Ngoài ra, việc đóng cắt thiết bị(tải) cũng được chương trình chính điều khiển

#### 4.1.1 Lưu đồ thuật toán các Task đọc và xử lý dữ liệu

##### 4.1.1.1. Đọc dữ liệu cơ bản U,I,P,S



Hình 36 Lưu đồ thuật toán đọc các thông số điện từ cảm biến

Việc đọc các thông số như điện áp hiệu dụng, dòng điện hiệu dụng, công suất tiêu thụ, công suất toàn phần được thực hiện bằng một Task trong ESP32. Chu kỳ thực hiện được đặt là 10s

Sau đó, các thông số về công suất, Q sẽ được tính toán dựa trên giá trị mà P và S đã đọc được.

Nếu có kết nối đến Thingsboard, MCU sẽ thực hiện gửi dữ liệu đến Thingsboard thông qua mạng wifi, nếu không, dữ liệu sẽ được lưu vào bộ nhớ flash của ESP32 kèm theo thời gian thực và gửi lên khi có kết nối thành công.



Các giá trị được đọc dưới dạng các số nguyên không dấu, từ đây, ta cần thực hiện tính toán để chuyển về các giá trị thực tương ứng thông qua các hằng số chuyển đổi. Các hằng số chuyển đổi đó có thể được tính thông qua phân cứng hoặc việc hiệu chỉnh sau này.

- ✓ Tính toán điện áp hiệu dụng.

$$U = VRMS \times K_u \quad (4 - 1)$$

Trong đó,  $K_u$  (V/LSB) là số điện áp đầu vào trên 1 LSB của thanh ghi chứa giá trị điện áp hiệu dụng VRMS.  $K_u$  được tính theo công thức

- ✓ Tính toán dòng điện hiệu dụng

$$I = IRMS \times K_i \quad (4 - 2)$$

Trong đó,  $K_i$  (V/LSB) là số dòng điện trên 1 LSB của thanh ghi chứa giá trị dòng điện hiệu dụng IRMS.  $K_i$  được tính theo công thức

- ✓ Các giá trị công suất tác dụng và công suất toàn phần được tính toán dựa trên các thanh ghi tích lũy năng lượng LAENERGY và LVAENERGY, thông qua các hệ số chuyển đổi tương ứng giống như các giá trị U, I
- ✓ Giá trị về hệ số công suất và công suất phản kháng được tính toán dựa trên P và S được tính ở trên

#### 4.1.1.2. Đọc và gửi wearform khi có sự cố

Đối với các thiết bị điện, nhất là các thiết bị điện cũ, đã sử dụng thời gian dài sẽ thường xuất hiện xảy sự cố không mong muốn, có thể dẫn đến hư hỏng thiết bị, nghiêm trọng hơn có thể xảy ra cháy, nổ, gây nguy hiểm đến người sử dụng và tài sản. Sự cố điện thường có 2 nguyên nhân chính.

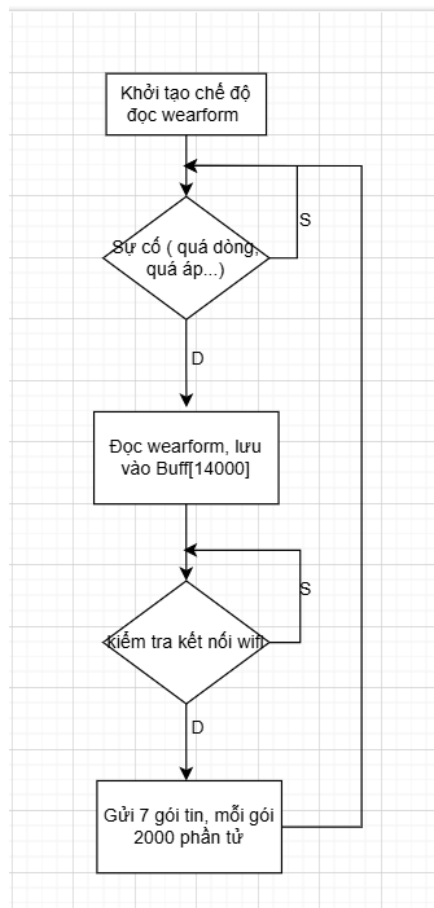
- Nguyên nhân từ nguồn điện: Khi nguồn cung cấp không đảm bảo trong ngưỡng hoạt động của thiết bị (tăng áp, sụt áp,...), sẽ dẫn đến việc thiết bị không hoạt động hoặc hoạt động không đúng, từ đó sẽ phát sinh sự cố điện
- Nguyên nhân từ thiết bị(tải): Khi thiết bị đã cũ, xảy ra chạm chập hoặc thiết bị hoạt động trong điều kiện bất thường như máy giặt bị hết nước, để đồ quá nóng trong tủ lạnh,... cũng sẽ dẫn đến những tín hiệu bất thường liên quan đến dòng điện, công suất,...

Từ những nguyên nhân trên, có thể thấy rằng việc phát hiện sự cố của thiết bị sẽ tác động đến các đại lượng như điện áp, dòng điện, công suất, hệ số công suất,...trong đồ án này, em đưa ra giả thuyết cho những sự kiện bất thường đó :

- Hiện tượng dòng điện vượt quá ngưỡng cho phép
- Điện áp tăng quá cao hoặc xuống quá thấp

Các điều khiển trên là các điều kiện giả định do em đặt ra, nhằm làm cơ sở cho việc thu thập dữ liệu tín hiệu trong trường hợp có sự cố, ở đây, em lựa chọn thu thập thông tin về tín hiệu dòng điện.

Quá trình thu thập dữ liệu về dòng điện được thực hiện theo lưu đồ thuật toán dưới đây, việc chia nhỏ các gói tin để gửi lần lượt giúp cho thiết bị hoạt động ổn định hơn.



Hình 37 Lưu đồ thuật toán đọc tín hiệu dòng điện từ cảm biến

Để giảm công việc tính toán cho MCU, tín hiệu dòng điện em đọc khi có sự cố sẽ được giữ nguyên rồi gửi lên nền tảng trung tâm, việc chuyển đổi Ampe/bit sẽ được thực hiện trên Thingsboard thông qua hằng số Kampe/bit.

## 4.2 Lưu đồ thuật toán cho việc hiệu chỉnh

Đối với một thiết bị đo thông thường, việc hiệu chuẩn thiết bị là một việc vô cùng quan trọng. Để đạt được độ chính xác, ADE7753 ngoài việc tích hợp ADC chính xác cao, sử dụng điện áp mẫu Uref được tự động bù nhiệt độ bằng phần mềm, ADE7753 còn thực hiện hiệu chỉnh hệ số tỉ lệ, pha, giá trị offset các đại lượng đo thông qua các thanh ghi hiệu chỉnh: APOS, WGAIN, PHCAL, IRMSOS, VRMSOS, VAGAIN, CFNUM, CFDEN, VADIV, WDIV. Nhằm loại bỏ nhiễu đến mức tối thiểu trong quá trình xử lý số liệu, đưa ra được kết quả đảm bảo độ chính xác theo yêu cầu.

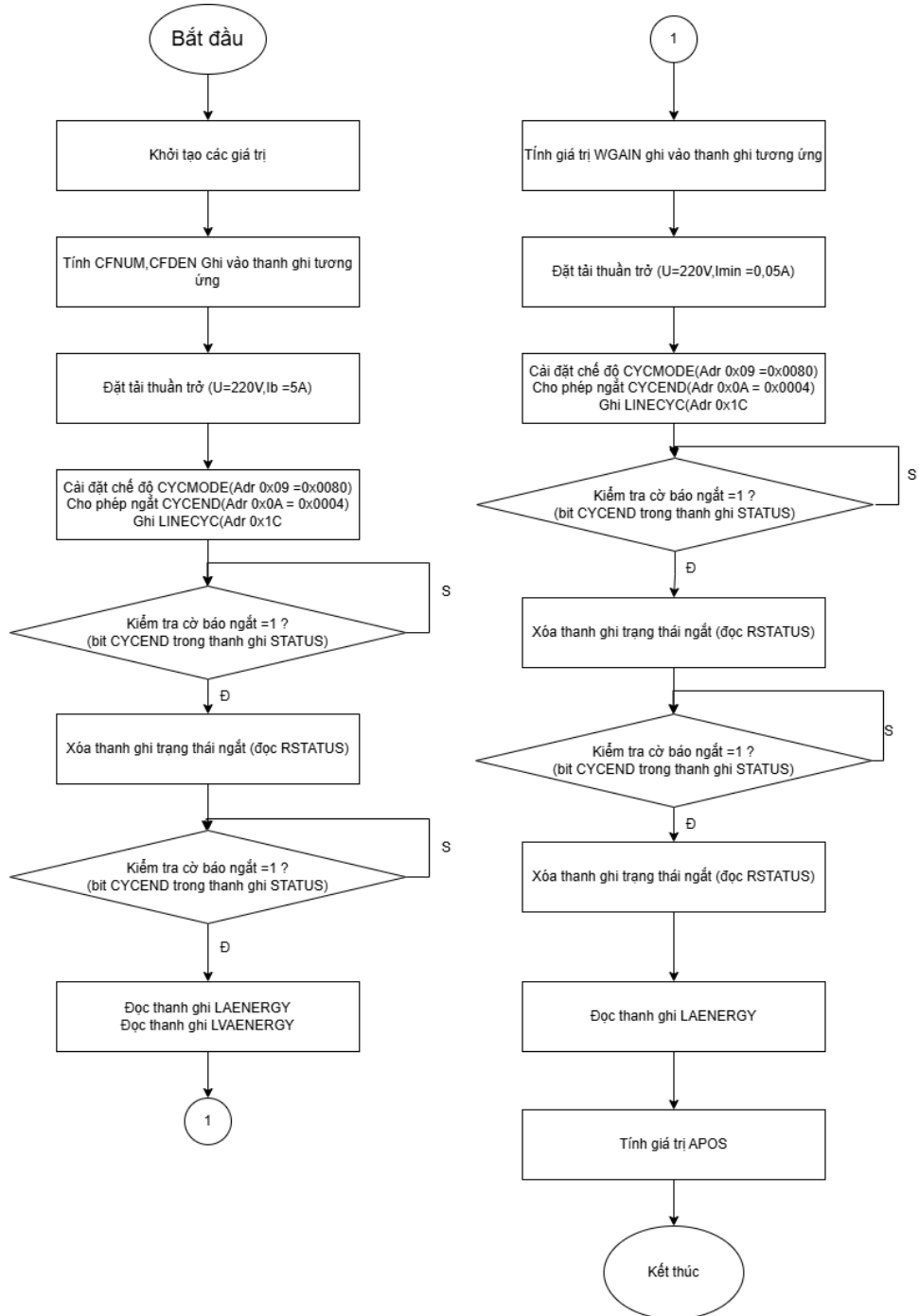
Mục 2.3.5 em đã đưa ra lý thuyết về việc hiệu chỉnh cho ADE7753 sử dụng theo 2 cách là sử dụng ổ cắm như một công tơ chuẩn hoặc sử dụng nguồn chuẩn. Do điều kiện phòng thí nghiệm cảm biến thông minh không có thiết bị phù hợp nên em xin phép đưa ra lưu đồ thuật toán cho việc hiệu chỉnh thông số dựa trên nguồn chuẩn.

Trong phạm vi đồ án này, em xin đưa ra một số thông số cần hiệu chỉnh sau

- ✓ Giá trị watt again, watt offset và hệ số chuyển đổi W/LSB cũng như của công suất toàn phần.
- ✓ Giá trị V/LSB và I/LSB và giá trị offset của dòng điện và điện áp hiệu dụng.

Lý do cho việc em không hiệu chuẩn góc lệch pha của 2 kênh là bởi vì theo datasheet của ADE7753, khi thiết kế cho tín hiệu đầu vào kênh 1 sử dụng điện trở Shunt thì việc hiệu chỉnh góc lệch pha có thể bỏ qua vì pha giữa dòng và áp trên Shunt không có sự chênh lệch nhau lớn.

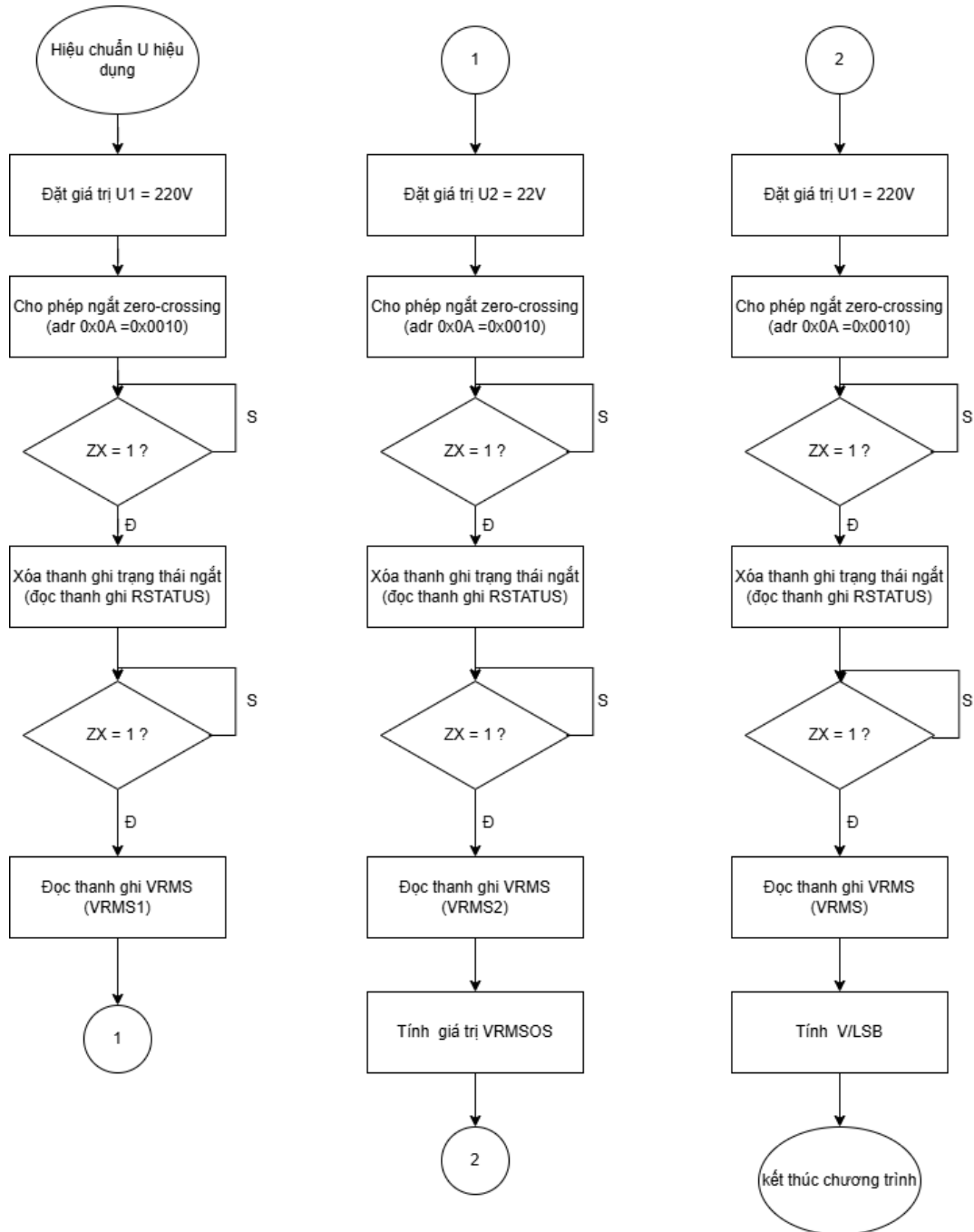
### 4.3 Hiệu chuẩn các thông số Watt gain, Watt offset, W/LSB



Hình 38 Lưu đồ thuật toán hiệu chỉnh năng lượng tác dụng

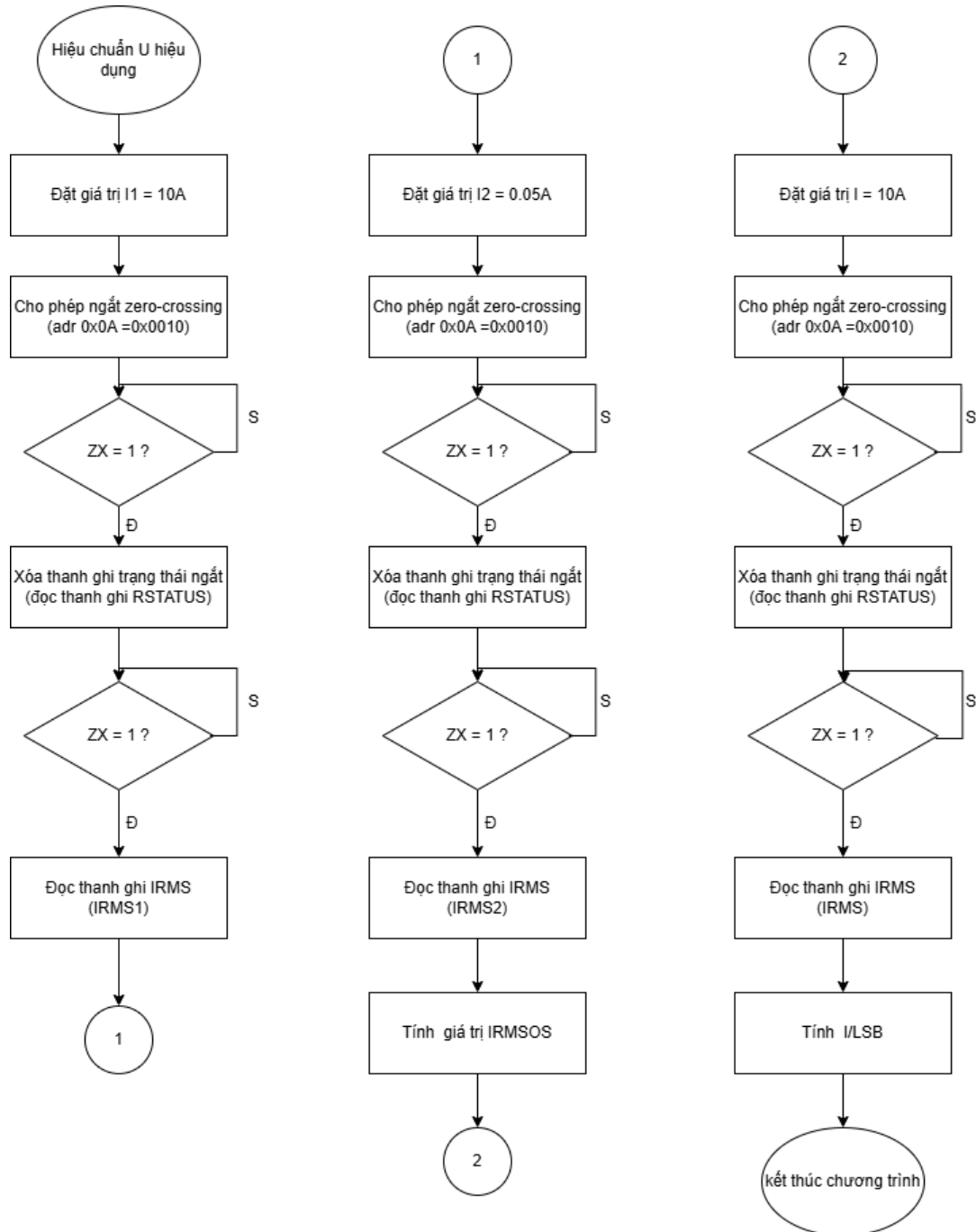
### 4.3.1 Hiệu chỉnh cho các giá trị điện áp hiệu dụng và dòng điện hiệu dụng

#### 4.3.1.1. Hiệu chỉnh cho điện áp hiệu dụng



Hình 39 Lưu đồ thuật toán cho hiệu chuẩn điện áp hiệu dụng

#### 4.3.1.2. Hiệu chuẩn cho dòng điện hiệu dụng



Hình 40 Lưu đồ thuật toán cho hiệu chuẩn dòng điện hiệu dụng

## 4.4 Tính năng Smart config Wifi trên ESP32

### 4.4.1 Giới thiệu về Smart config.

Smartconfig là một kỹ thuật cấu hình wifi của thiết bị mà không cần nạp lại code, sử dụng kết nối giữa wifi của thiết bị với điện thoại để truyền thông tin ssid và pass. Kỹ thuật này được TI tạo ra và đang được áp dụng cho hầu hết tất cả các dòng chip có sử dụng wifi. Với ESP32, ESP8266 và các dòng khác của Espressif họ cũng sử dụng kỹ thuật này và đóng gói thành ESP Touch.

### 4.4.2 Cơ chế hoạt động của Smart config.

Việc cấu hình wifi thông qua smart config gồm 4 bước, cụ thể như sau:

✓ Bước 1: ESP32 vào chế độ SmartConfig

Khi kích hoạt SmartConfig, ESP32 sẽ vào chế độ lắng nghe thụ động trên mạng WiFi và bắt đầu bắt các gói tin đặc biệt

✓ Bước 2: Ứng dụng di động phát SSID và mật khẩu WiFi

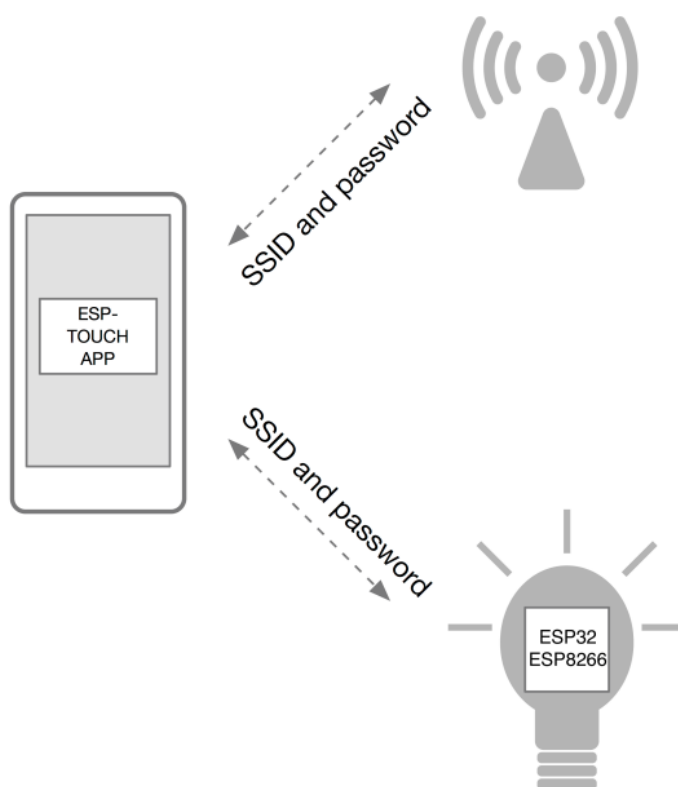
Một ứng dụng trên điện thoại (như ESP-Touch của Espressif hoặc ứng dụng tùy chỉnh) sẽ phát các gói tin UDP đặc biệt vào mạng WiFi. Các gói tin này được thiết kế sao cho SSID và mật khẩu được mã hóa trong mẫu truyền tải của gói tin.

✓ Bước 3: ESP32 giải mã thông tin WiFi

ESP32 sẽ phân tích mẫu gói tin nhận được để trích xuất thông tin SSID và mật khẩu WiFi. Nó sử dụng thuật toán Espressif's SmartConfig để giải mã dữ liệu trong các gói tin đã nhận.

✓ Bước 4: ESP32 kết nối vào WiFi

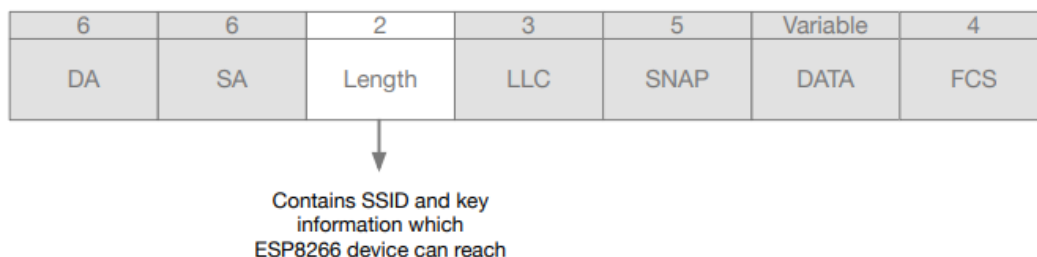
Sau khi lấy được SSID và mật khẩu, ESP32 sẽ tự động kết nối vào mạng WiFi. Nếu kết nối thành công, nó có thể lưu thông tin WiFi vào bộ nhớ flash (NVS) để sử dụng sau này.



Hình 41 Sơ đồ thiết lập kết nối wifi cho ESP32/ESP8266

Vì thiết bị ban đầu không kết nối vào mạng, ứng dụng ESPTOUCH không thể gửi bất kỳ thông tin nào trực tiếp đến thiết bị. Với giao thức giao tiếp ESP-TOUCH, một thiết bị có khả năng truy cập Wi-Fi, chẳng hạn như điện thoại thông minh, có thể gửi một chuỗi gói tin UDP đến Wi-Fi Access Point (AP), mã hóa SSID và mật khẩu vào trường Length của mỗi gói tin UDP này. Thiết bị sau đó có

thể tiếp cận các gói tin UDP, thu thập và phân tích thông tin cần thiết. Cấu trúc gói tin dữ liệu được thể hiện trong Hình 42:



Hình 42 Cấu trúc gói tin UDP trong ESP touch

#### 4.5 Cơ chế đóng cắt thiết bị tại điểm “0”.

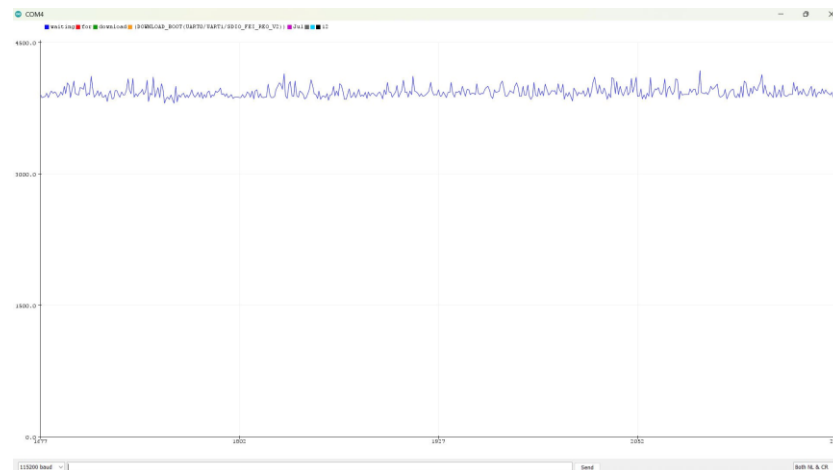
Đóng cắt thiết bị tại điểm 0 (hoặc Zero Crossing Switching) là quá trình đóng hoặc cắt một thiết bị (thường là một công tắc hoặc relay) khi điện áp đạt giá trị bằng 0 hoặc gần bằng 0 trong chu kỳ của sóng điện áp xoay chiều (AC). Điều này thường xảy ra tại điểm giao nhau của sóng điện áp, tức là khi điện áp thay đổi từ dương sang âm hoặc từ âm sang dương.

Ưu điểm của việc đóng cắt thiết bị tại điểm không:

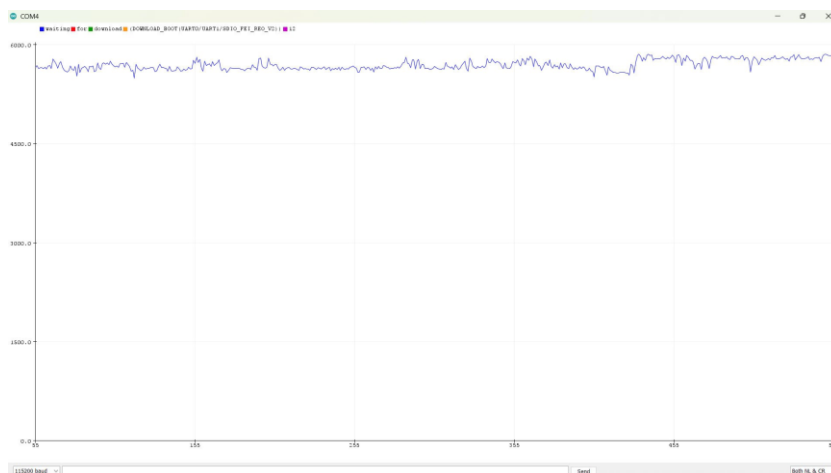
- ✓ **Giảm tác động đến dòng điện:** Khi đóng cắt tại điểm 0, dòng điện sẽ ít bị gián đoạn đột ngột. Điều này giúp tránh được sự bùng nổ dòng điện cao trong thời điểm chuyển mạch, giảm thiểu việc gây ra sóng hài và nhiễu điện. Nếu cắt tại thời điểm khác trong chu kỳ sóng, sự thay đổi đột ngột có thể tạo ra một đỉnh dòng điện rất cao, gây ra tổn thất năng lượng hoặc hư hỏng cho thiết bị.
- ✓ **Bảo vệ thiết bị:** Đóng cắt tại điểm 0 giúp bảo vệ thiết bị khỏi các hiện tượng dòng điện va đập (inrush current) và giảm thiểu tác động của việc chuyển mạch, từ đó kéo dài tuổi thọ cho các thiết bị và công tắc.
- ✓ **An toàn cao hơn:** Việc đóng cắt tại điểm 0 giúp giảm nguy cơ cháy nổ hoặc hư hỏng thiết bị do các va đập dòng điện mạnh, điều này đặc biệt quan trọng đối với các thiết bị điện tử và hệ thống điện.

Chip ADE7753 có mạch hỗ trợ phát hiện điểm không tại đầu vào kênh 2, tuy nhiên, thực tế việc đóng cắt thiết bị bằng relay sẽ tạo ra một độ trễ nhỏ của bộ phận cơ khí (cuộn hút),.... Vì vậy, em đã thực hiện thực nghiệm đo thời gian đóng mở của relay để từ đó có thể điều khiển đóng mở ổ cắm một cách hợp lý. Thời gian đóng và mở của relay được biểu diễn ở hai hình sau:





Hình 43 Thời gian đóng relay (Thông mạch)



Hình 44 Thời gian mở relay(hở mạch)

Theo kết quả thực nghiệm, Thời gian trung bình cho mỗi lần đóng relay là khoảng 4ms, thời gian cho mỗi lần mở relay là khoảng 5,7 ms, từ đó, kết hợp với tín hiệu giao cắt điểm không từ ADE7753, ta có thể đóng cắt relay vào thời điểm điện áp bằng 0 tiếp theo.

## 4.6 Lưu đồ thuật toán cho việc cập nhật chương trình mới(OTA)

### 4.6.1 Giới thiệu về OTA

OTA (Over-The-Air) là một công nghệ cho phép cập nhật, nâng cấp hoặc cấu hình phần mềm/hệ điều hành của thiết bị từ xa thông qua mạng không dây (Wi-Fi, Bluetooth, hoặc mạng di động). Đây là một phương pháp phổ biến và hiệu quả để quản lý và bảo trì thiết bị mà không cần can thiệp vật lý trực tiếp, giúp tiết kiệm thời gian, chi phí và nhân lực.

### 4.6.2 Quy trình hoạt động của OTA

#### ✓ Bước 1. Chuẩn bị bản cập nhật

Firmware hoặc phần mềm mới được kiểm tra và ký số để đảm bảo tính toàn vẹn và bảo mật.

✓ Bước 2. Truyền tải bản cập nhật

Bản cập nhật được tải lên một máy chủ OTA (OTA Server). Thiết bị nhận thông báo có bản cập nhật mới qua mạng không dây.

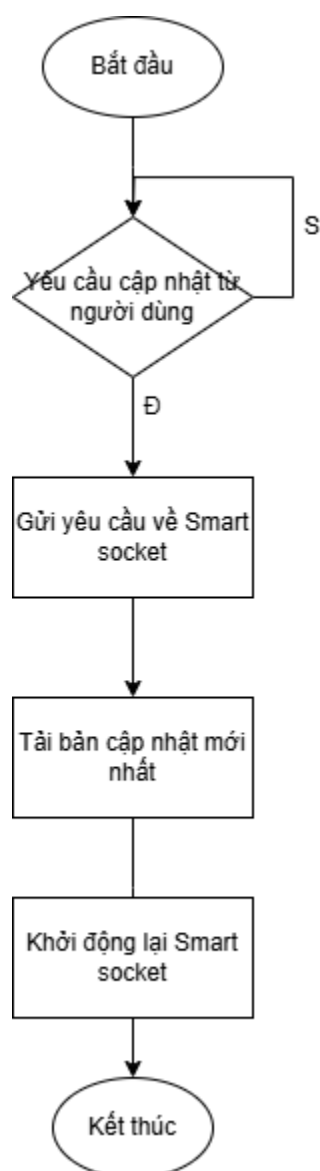
✓ Bước 3. Tải về và xác minh.

Thiết bị tải về bản cập nhật, sau đó kiểm tra tính toàn vẹn và xác thực nguồn gốc của dữ liệu.

✓ Bước 4. Cập nhật và khởi động lại

Thiết bị áp dụng bản cập nhật và khởi động lại với phiên bản phần mềm mới.

### 4.6.3 Lưu đồ thuật toán



Hình 45 Lưu đồ thuật toán cho việc cập nhật OTA

## 4.7 Kết luận chương

Ở chương này, em đã đi xây dựng phần mềm cho thiết bị. Phần lập trình cho thiết bị em sử dụng framework ESP-IDF(Espressif IoT Development Framework) do Espressif Systems phát triển. Nền tảng Cloud em xây dựng trên nền tảng Thingsboard được cài đặt và chạy trên server của Lab. OTA server dùng để cập nhật firmware cho thiết bị em sử dụng nền tảng miễn phí OTA driver. Việc hiệu chỉnh cho thiết bị em mới chỉ đưa ra lưu đồ thuật toán chứ chưa thể thực hiện do điều kiện về thiết bị.

## CHƯƠNG 5. KẾT QUẢ, ĐO KIỂM VÀ ĐÁNH GIÁ

### 5.1 Đo kiểm sai số thiết bị

- ❖ Mục tiêu: nhằm đo kiểm sai số của thiết bị so với thông số cung cấp cũng hã, đánh giá sai số của thiết bị trong điều kiện hoạt động thực tế
- ❖ Các trang thiết bị sử dụng:
  - ✓ Đồng hồ đo vạn năng DT4282



Hình 46 Đồng hồ vạn năng DT4282

Thông số sai số của đồng hồ đo DT4282 theo datasheet:

sai số của đồng hồ vạn năng DT4282 được tính như sau:

Sai số = (%rdg x **giá trị đo**) + (dgt x **độ phân giải nhỏ nhất**), trong đó:

- Sai số đọc ( $\pm\%rdg$ ): Dựa trên giá trị đang đo được (reading).
- Sai số hiển thị ( $\pm dgt$ ): Dựa trên độ phân giải (digit).

❖ Thông số sai số của DT4282 khi đo điện áp xoay chiều

Thang đo	Sai số					
	20 đến 45 Hz	45 đến 65 Hz	65 đến 1k Hz	1k đến 10k Hz	10k đến 20k Hz	20k đến 100k Hz
60.000 mV	±1.3% rdg. ±60 dgt.	±0.4% rdg. ±40 dgt.	±0.6% rdg. ±40 dgt.	±0.9% rdg. ±40 dgt.	±1.5% rdg. ±40 dgt.	±20% rdg. ±80 dgt.
600.00 mV	±1.3% rdg. ±60 dgt.	±0.4% rdg. ±40 dgt.	±0.6% rdg. ±40 dgt.	±0.9% rdg. ±40 dgt.	±1.5% rdg. ±40 dgt.	±8% rdg. ±80 dgt.
6.0000 V	±1% rdg. ±60 dgt.	±0.2% rdg. ±25 dgt.	±0.3% rdg. ±25 dgt.	±0.4% rdg. ±25 dgt.	±0.7% rdg. ±40 dgt.	±3.5% rdg. ±40 dgt.
60.000 V	Không xác định	±0.2% rdg. ±25 dgt.	±0.3% rdg. ±25 dgt.	±0.4% rdg. ±25 dgt.	±0.7% rdg. ±40 dgt.	±3.5% rdg. ±40 dgt.
600.00 V	Không xác định	±0.2% rdg. ±25 dgt.	±0.3% rdg. ±25 dgt.	±0.4% rdg. ±25 dgt.	Không xác định	Không xác định.
1000.0 V	Không xác định	±0.2% rdg. ±25 dgt.	±0.3% rdg. ±25 dgt.	±0.4% rdg. ±25 dgt.	Không xác định.	Không xác định

Bảng 3 Thông số sai số của DT4282 khi đo điện áp

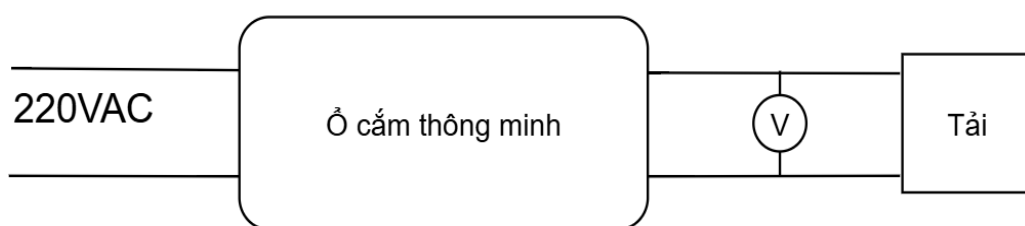
❖ Thông số sai số của DT4282 khi đo dòng điện xoay chiều

Thang đo (A)	Sai số				
	20 đến 45 Hz	45 đến 65 Hz	65 đến 1k Hz	1k đến 10k Hz	10k đến 20k Hz
600.00u	±1.0% rdg. ±20 dgt.	±0.6% rdg. ±20 dgt.	±0.6% rdg. ±20 dgt.	±2% rdg. ±20 dgt.	±4% rdg. ±20 dgt.
6000.0u	±1.0% rdg. ±5 dgt.	±0.6% rdg. ±5 dgt.	±0.6% rdg. ±5 dgt.	±2% rdg. ±5 dgt.	±4% rdg. ±5 dgt.
60.000m	±1% rdg. ±20 dgt.	±0.6% rdg. ±20 dgt.	±0.6% rdg. ±20 dgt.	±1% rdg. ±20 dgt.	±2% rdg. ±20 dgt.
600.00m	±1.0% rdg. ±5 dgt.	±0.6% rdg. ±5 dgt.	±0.6% rdg. ±5 dgt.	±1.5% rdg. ±10 dgt.	Không xác định
6.0000	Không xác định	±0.8% rdg. ±20 dgt.	±0.8% rdg. ±20 dgt.	Không xác định	Không xác định
10.000	Không xác định	±0.8% rdg. ±5 dgt.	±0.8% rdg. ±5 dgt.	Không xác định	Không xác định.

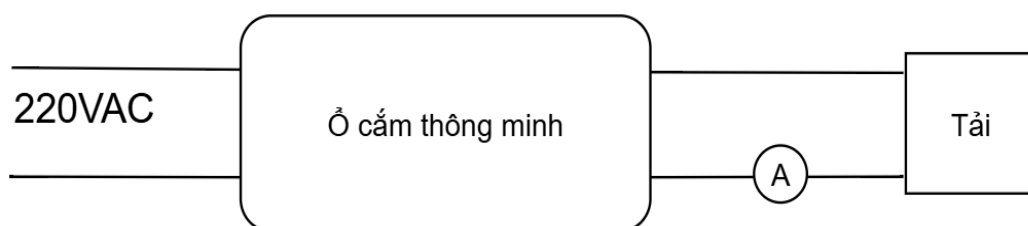
Bảng 4 Thông số sai số của DT4282 khi đo dòng điện

✓ Các tải kiểm tra: Âm siêu tốc, máy sấy tóc (3 cấp độ), sạc máy tính

- ❖ Hệ đo: Do điều kiện chỉ có một đồng hồ đo DT4282 lên em đã thực hiện bố trí sơ đồ đo cho đại lượng về dòng điện và điện áp riêng, các sơ đồ đo được mô tả bởi các hình bên dưới:



Hình 47 Sơ đồ đo và đánh giá dòng điện



Hình 48 Sơ đồ đo và đánh giá điện áp

- ❖ Quy trình đo điểm: lần lượt thay đổi các tải, đọc giá trị đo được từ đồng hồ và giá trị hiển thị trên máy tính được kết nối với ổ cắm thông qua cổng USB, mỗi tải đo lặp lại 5 lần
- ❖ Kết quả:

	lần đo	I chuẩn (A)	I (A)	U (V)	P (W)	S (VA)	hệ số
Sạc laptop	1	0.4277	0.432	230.21	60.2	97.7	0.62
	2	0.4451	0.447	230.44	60.7	98.9	0.61
	3	0.4311	0.418	230.32	57.4	92.7	0.62
	4	0.4464	0.446	229.53	62.5	100.4	0.62
	5	0.4638	0.453	230.02	63.3	102	0.62
Máy sấy tóc chế độ 1	1	1.9502	1.951	222.81	391.3	439.1	0.89
	2	1.9307	1.897	222.91	384.4	429.1	0.9
	3	1.9172	1.889	222.79	379.3	428.9	0.88
	4	1.9146	1.919	222.62	379.3	457.4	0.83
	5	1.9098	1.895	222.84	378.4	472.5	0.8
Máy sấy tóc chế độ 2	1	3.3154	3.305	219.52	721.1	736.8	0.98
	2	3.3126	3.328	219.58	719.6	725.8	0.99
	3	3.3138	3.303	219.54	716.7	753.5	0.95
	4	3.3093	3.303	219.36	709.5	770.9	0.92
	5	3.3101	3.312	219.49	716	724.5	0.99
Máy sấy tóc chế độ 3	1	5.8037	5.822	214.74	1236	1245.3	0.99
	2	5.8094	5.829	216.32	1236.8	1305.1	0.95
	3	5.8083	5.83	216.15	1242.1	1244.8	1
	4	5.7926	5.808	214.55	1243.9	1252.8	0.99
	5	5.8033	5.827	216.12	1242.2	1247.2	1
Ấm siêu tốc	1	7.643	7.603	215.81	1616	1616	1
	2	7.628	7.609	213.77	1615.6	1615.8	1
	3	7.651	7.653	214.23	1624.4	1624.4	1
	4	7.641	7.658	215.82	1625.5	1625.5	1
	5	7.619	7.607	213.66	1623.5	1623.3	1

Bảng 5 Kết quả đo các thông số  $U, I, P, S$

U chuẩn (V)	U đo (V)
225.9	225.85
219.8	219.98
217.4	218.59
217.04	217.66

Bảng 6 kết quả đo thông số U

### 5.1.1 Đánh giá sai số đo dòng điện

- ❖ Sai số giữa thiết bị thiết kế với đồng hồ vạn năng DT4282 (coi là thiết bị chuẩn)

	lần đo	I chuẩn (A)	I (A)	Sai số (%)	Phương sai
Sạc laptop	1	0.4277	0.432	1.01	0.0002
	2	0.4451	0.447	0.43	
	3	0.4311	0.418	3.04	
	4	0.4464	0.446	0.09	
	5	0.4638	0.453	2.33	
Máy sấy tóc chế độ 1	1	1.9502	1.951	0.04	0.00065
	2	1.9307	1.897	1.75	
	3	1.9172	1.889	1.47	
	4	1.9146	1.919	0.23	
	5	1.9098	1.895	0.77	
Máy sấy tóc chế độ 2	1	3.3154	3.305	0.31	0.00011
	2	3.3126	3.328	0.46	
	3	3.3138	3.303	0.33	
	4	3.3093	3.303	0.19	
	5	3.3101	3.312	0.06	
Máy sấy tóc chế độ 3	1	5.8037	5.822	0.32	0.00008
	2	5.8094	5.829	0.34	
	3	5.8083	5.83	0.37	
	4	5.7926	5.808	0.27	
	5	5.8033	5.827	0.41	
Ấm siêu tốc	1	7.643	7.603	0.52	0.00073
	2	7.628	7.609	0.25	
	3	7.651	7.653	0.03	
	4	7.641	7.658	0.22	
	5	7.619	7.607	0.16	
Sai số trung bình				0.616	

Bảng 7 Đánh giá sai số, sai số trung bình và phương sai của phép đo I giữa thiết bị thiết kế và thiết bị chuẩn

- ❖ Sai số của thiết bị chuẩn tính toán theo thông số của nhà sản xuất

Thiết bị	lần đo	I chuẩn (A)	Sai số (A)	Sai số(%)
Sạc laptop	1	0.4277	0.0054	1.26
	2	0.4451	0.0056	1.26
	3	0.4311	0.0054	1.25
	4	0.4464	0.0056	1.25
	5	0.4638	0.0057	1.23
Máy sấy tóc chế độ 1	1	1.9502	0.0176	0.9
	2	1.9307	0.0174	0.9
	3	1.9172	0.0173	0.9
	4	1.9146	0.0173	0.9
	5	1.9098	0.0173	0.91
Máy sấy tóc chế độ 2	1	3.3154	0.0285	0.86
	2	3.3126	0.0285	0.86
	3	3.3138	0.0285	0.86
	4	3.3093	0.0285	0.86
	5	3.3101	0.0285	0.86
Máy sấy tóc chế độ 3	1	5.8037	0.0484	0.83
	2	5.8094	0.0485	0.83
	3	5.8083	0.0485	0.84
	4	5.7926	0.0483	0.83
	5	5.8033	0.0484	0.83
Ấm siêu tốc	1	7.643	0.0661	0.86
	2	7.628	0.066	0.87
	3	7.651	0.0662	0.87
	4	7.641	0.0661	0.87
	5	7.619	0.066	0.87
Sai số trung bình				0.94

Bảng 8 Đánh giá sai số và sai số trung bình khi đo dòng điện của thiết bị chuẩn

Sai số của thiết bị được tính theo công thức sau:

$$\gamma_{tb} = \sqrt{\gamma_{chuẩn}^2 + \gamma_{đo}^2}$$

Trong đó:

$\gamma_{tb}$ : sai số phần trăm của thiết bị thiết kế

$\gamma_{chuẩn}$ : Sai số phần trăm của thiết bị tham chiếu (coi là thiết bị chuẩn)

$\gamma_{đo}$ : Sai số phần trăm của thiết bị thiết kế so với thiết bị chuẩn

Từ đó, ta tính được sai số của thiết bị thiết kế đối với kết quả đo dòng điện là:  
**1.12%**

### 5.1.2 Đánh giá sai số đo điện áp

- ❖ Sai số giữa thiết bị thiết kế với đồng hồ vạn năng DT4282 (coi là thiết bị chuẩn)

	U chuẩn (V)	U đo (V)	Sai số (%)
	225.9	225.85	0.02
	219.8	219.98	0.08
	217.4	218.59	0.55
	217.04	217.66	0.29
Sai số trung bình			0.235

Bảng 9 Đánh giá sai số, sai số trung bình của phép đo điện áp giữa thiết bị thiết kế và thiết bị chuẩn

- ❖ Sai số của thiết bị chuẩn tính toán theo thông số của nhà sản xuất



	U chuẩn (V)	Sai số (A)	Sai số (%)
	225.9	0.7018	0.31
	219.8	0.6896	0.31
	217.4	0.6848	0.31
	217.04	0.68408	0.32
Sai số trung bình			0.31

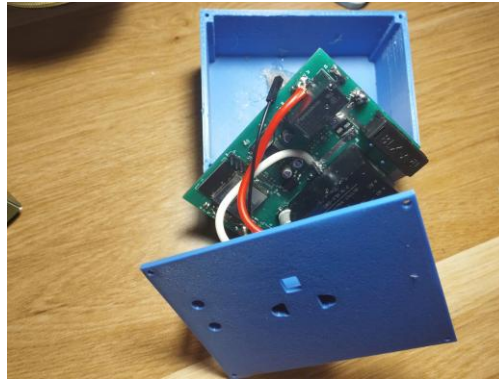
*Bảng 10 Sai số của thiết bị chuẩn khi đo điện áp*

Việc tính toán sai số của thiết bị đo khi thực hiện đo điện áp cũng giống với việc tính toán khi thiết bị đo dòng điện. Từ đó, ta có sai số khi đo điện áp của thiết bị là: **0.39%**

## 5.2 Kết quả đạt được

Sau thời gian nghiên cứu đề án “Thiết kế ổ cắm điện thông minh sử dụng công nghệ truyền thông Wifi” em đã hoàn thành những công việc sau:

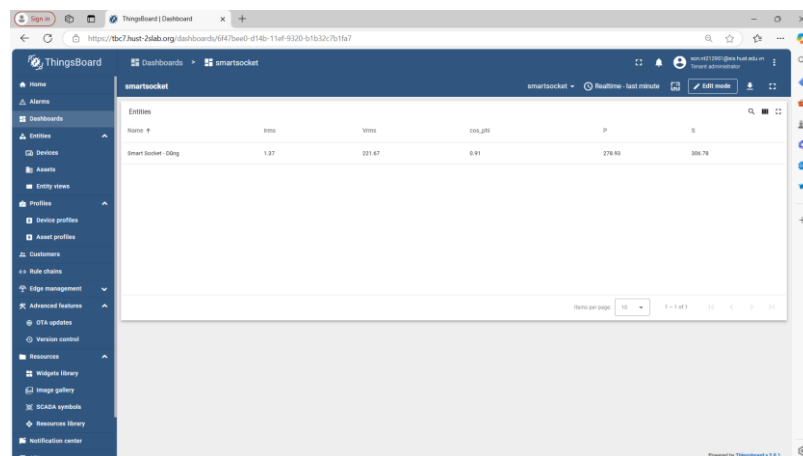
- ✓ Tìm hiểu phương pháp đo các thông số điện . Xu hướng phát triển của các ổ cắm thông minh trong tương lai là tích hợp AI ngay tại ổ cắm.
  - ✓ Nắm vững được nguyên lý hoạt động của IC đo năng lượng ADE7753, cách thức để giao tiếp và xử lý số liệu đưa về từ IC.
  - ✓ Lập trình được với dòng vi điều khiển ESP32 và nền tảng IOT-Platform Thingsboard.
  - ✓ Thiết kế được ổ cắm điện thông minh với các chức năng sau:
    - Đo được các thông số điện cơ bản.
    - Lấy mẫu tín hiệu với tần số 6 KHz khi có sự cố.
    - Lưu trữ và truyền dữ liệu về nền tảng IoT Platform, cụ thể ở đây là Thingsboard.
    - Kết nối mạng wifi, sử dụng wifi để truyền nhận dữ liệu và nhận lệnh điều khiển.
    - Điều khiển đóng cắt, lập lịch hẹn giờ.
    - Đóng vỏ cho thiết bị và giao diện người dùng thân thiện.
    - Chương trình phần mềm cho ổ cắm thông minh có thể cập nhật từ xa (OTA) khi người dùng có yêu cầu.
  - ❖ Hình ảnh ổ cắm đã được đóng vỏ với kích thước còn lớn 10cm x 8cm x 4cm
- Em thực hiện in 3D vỏ của thiết bị được thiết kế ở mục 3.3



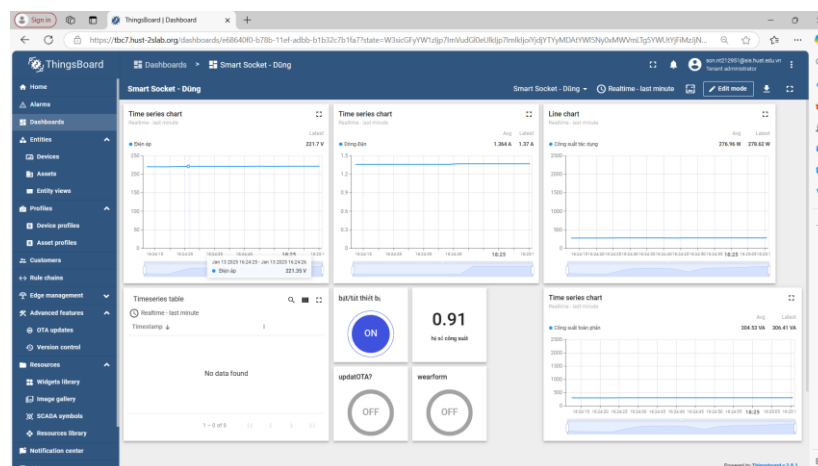
Hình 49 Thiết bị hoàn thiện được đóng vỏ

#### ❖ Giao diện người dùng trên nền tảng thingsboard

Giao diện người dùng trên Thingsboard gồm một giao diện chính, bao gồm tất cả các “Smart socket” trong nhà, giao diện bên dưới là thông tin cho từng “Smart socket” hiển thị dưới dạng thời gian thực.

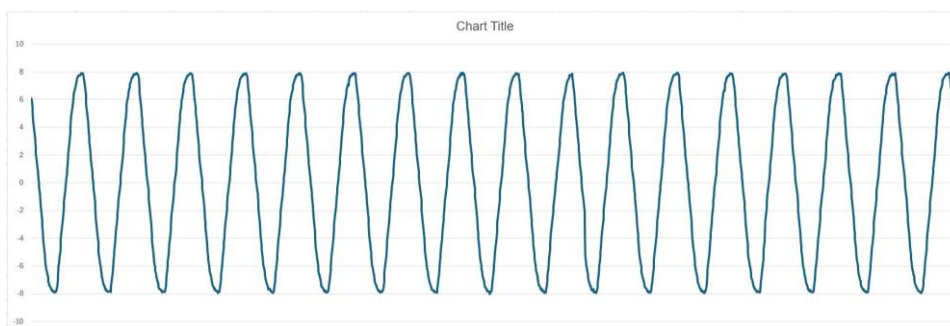


Hình 50 Giao diện quản lý chung tất cả các thiết bị trên nền tảng thingsboard



Hình 51 Giao diện hiển thị và quản lý từng thiết bị trên nền tảng thingsboard

#### ❖ Dữ liệu wearform

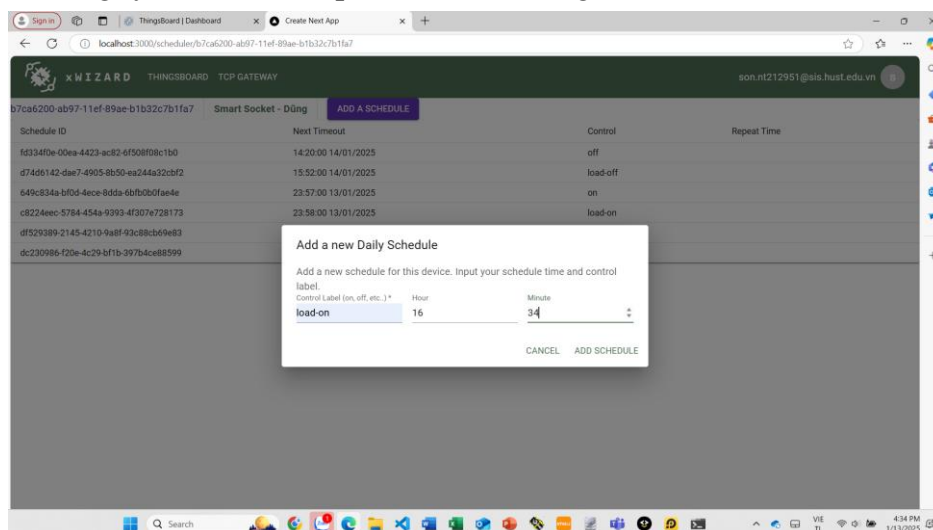


Hình 52 Một mẫu tín hiệu đo được bởi kênh 1, giá trị hiệu dụng khoảng 5.7 A

Hình ảnh trên là một bản tin 2000 mẫu được trực quan hóa bằng phần mềm excel, sau khi được nhân với hằng số chuyển đổi Ki/bit.

❖ Giao diện hẹn giờ, bật tắt thiết bị:

Do phiên bản thingsboard cộng đồng không hỗ trợ việc lập lịch, hẹn giờ cho thiết bị nên trong quá trình hoàn thiện giao diện lập trình em đã được sự hỗ trợ của bạn Nguyễn Thái Sơn, phụ trách nền tảng IoT platform của Lab

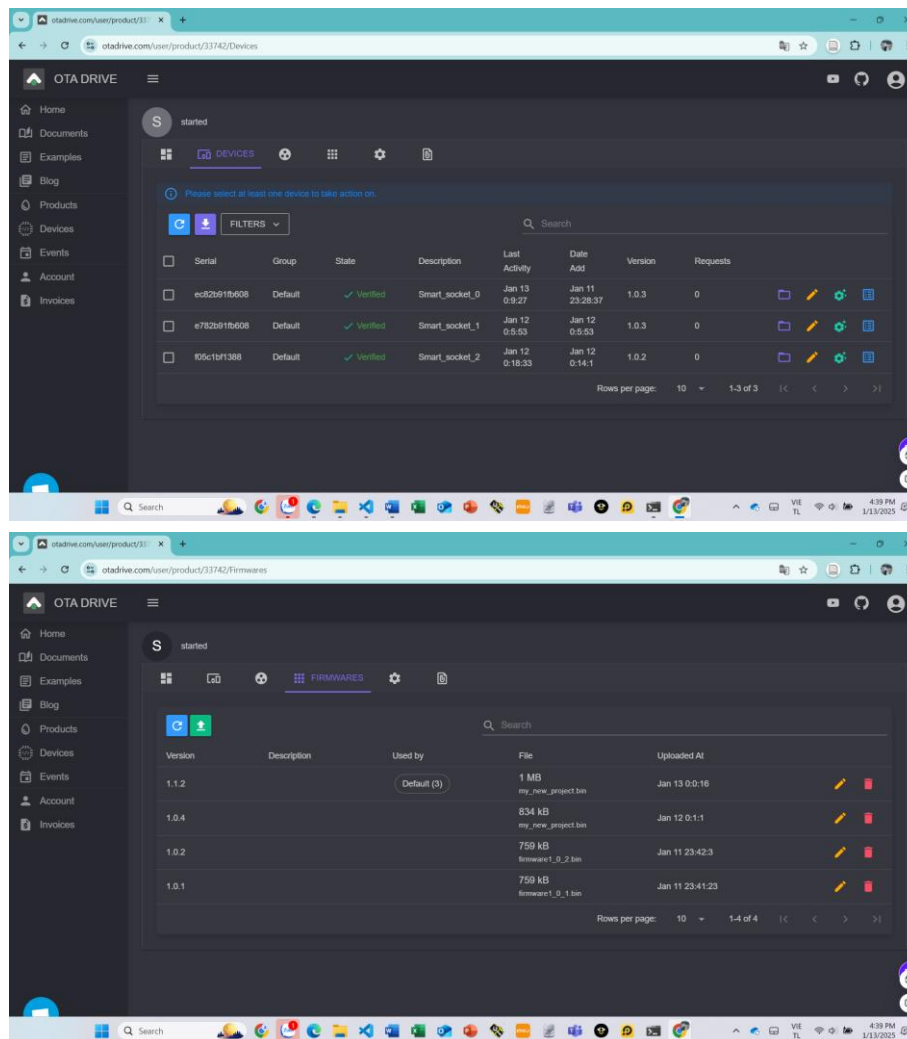


Hình 53 Giao diện hẹn giờ, lập lịch cho thiết bị

❖ Cập nhật phần mềm (OTA) cho thiết bị bằng OTA DRIVER

Khi có bản cập nhật phần mềm mới, hệ thống sẽ tiến hành gửi thông báo đến giao diện người dùng có bản cập nhật mới, nếu người dùng muốn cập nhật thì ấn nút cập nhật hiển thị trên giao diện.

Khi có tín hiệu từ người điều khiển, ỏ cảm sẽ kiểm tra phiên bản hiện tại với phiên bản trên OTA DRIVER, nếu phiên bản hiện tại đã là phiên bản cao nhất thì sẽ bỏ qua cập nhật phần mềm, quay về tiếp tục chương trình.



Hình 54 Giao diện cập nhật phần mềm thông qua OTA driver

### 5.3 Kết luận chương

Ở chương này, em đã thực hiện thiết lập bài đo đánh giá sai số của thiết bị đối với một đồng hồ vạn năng DT4282, nêu ra các kết quả đã đạt được trong quá trình thực hiện đồ án.

## CHƯƠNG 6. KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN

Kết quả sau đề tài đồ án này, em đã thiết kế và chế tạo thành công ổ cắm thông minh sử dụng công nghệ truyền tin Wifi như đã đề ra. Trong quá trình thiết kế sản phẩm, các khâu như tìm hiểu lý thuyết, tài liệu liên quan, xây dựng các yêu cầu cho các khối, thiết kế thiết bị thực tế, thực hiện đo kiểm sai số so với 1 thiết bị đo đã được thực hiện.

Tuy vậy, đề tài còn một số phần cần hoàn thiện và phát triển thêm như: tốc độ lấy mẫu chưa đạt được mức đề ra ( 6kHz so với 10kHz), việc bảo mật truyền tin mới chỉ dừng lại ở việc sử dụng công nghệ xác thực thiết bị Token chứ chưa triển khai bảo mật mã hóa như TLS. Phần mềm giao diện thiết bị và các chức năng cần được thiết kế thẩm mỹ hơn và gộp lại trong một giao diện duy nhất. Tiến hành xây dựng mạng cảm biến với nhiều thiết bị hơn để kiểm nghiệm hệ thống và phù hợp hơn với tính thực tế trong cuộc sống của ta là sử dụng rất nhiều ổ cắm trong một ngôi nhà.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] P. T. Hàn, Kỹ thuật đo lường các đại lượng vật lý, tập 2, Nhà xuất bản Giáo dục, 2006.
- [2] A. Collins, “Solid State Solutions for Electricity Metrology,” *Analog Devices Inc.*.
- [3] I. Analog Devices, ADE7753: Single-Phase Multifunction Metering IC with di/dt Sensor Interface Data Sheet (Rev C, 01/2010), Wilmington, MA, USA: Analog Devices, Inc, 2010.
- [4] E. Systems, ESP32-WROOM-32D Datasheet.
- [5] A. Devices, “Using a Shunt Resistor with the ADE7753 Energy Metering IC for Current Sensing,” *Application Note AN-1133*, 2010.
- [6] datasheet HLK-5M05.
- [7] Hioki, “Hioki,” [Trực tuyến]. Available: [https://www.hioki.com/global/products/testers/dmm-4/id\\_5803..](https://www.hioki.com/global/products/testers/dmm-4/id_5803..)

## PHỤ LỤC

### Phụ lục A: Bảng giá trị các ngưỡng điện áp vào ra của các chân logic trong ADE7753 và ESP32

LOGIC INPUTS			
RESET, DIN, SCLK, CLKIN, and CS			
Input High Voltage, $V_{IH}$	2.4	V min	$DV_{DD} = 5\text{ V} \pm 10\%$
Input Low Voltage, $V_{IL}$	0.8	V max	$DV_{DD} = 5\text{ V} \pm 10\%$
Input Current, $I_{IN}$	$\pm 3$	$\mu\text{A}$ max	Typically 10 nA, $V_{IN} = 0\text{ V}$ to $DV_{DD}$
Input Capacitance, $C_{IN}$	10	pF max	
LOGIC OUTPUTS			
SAG and IRQ			
Open-drain outputs, 10 k $\Omega$ pull-up resistor			
Output High Voltage, $V_{OH}$	4	V min	$I_{SOURCE} = 5\text{ mA}$
Output Low Voltage, $V_{OL}$	0.4	V max	$I_{SINK} = 0.8\text{ mA}$
ZX and DOUT			
Output High Voltage, $V_{OH}$	4	V min	$I_{SOURCE} = 5\text{ mA}$
Output Low Voltage, $V_{OL}$	0.4	V max	$I_{SINK} = 0.8\text{ mA}$
CF			
Output High Voltage, $V_{OH}$	4	V min	$I_{SOURCE} = 5\text{ mA}$
Output Low Voltage, $V_{OL}$	1	V max	$I_{SINK} = 7\text{ mA}$

Hình 55 Giá trị mức điện áp ADE7753

Symbol	Parameter		Min	Typ	Max	Unit
$C_{IN}$	Pin capacitance		-	2	-	pF
$V_{IH}$	High-level input voltage		$0.75 \times VDD^1$	-	$VDD^1 + 0.3$	V
$V_{IL}$	Low-level input voltage		-0.3	-	$0.25 \times VDD^1$	V
$I_{IH}$	High-level input current		-	-	50	nA
$I_{IL}$	Low-level input current		-	-	50	nA
$V_{OH}$	High-level output voltage		$0.8 \times VDD^1$	-	-	V
$V_{OL}$	Low-level output voltage		-	-	$0.1 \times VDD^1$	V
$I_{OH}$	High-level source current ( $VDD^1 = 3.3\text{ V}$ , $V_{OH} \geq 2.64\text{ V}$ , output drive strength set to the maximum)	VDD3P3_CPU power domain <sup>1, 2</sup>	-	40	-	mA
		VDD3P3_RTC power domain <sup>1, 2</sup>	-	40	-	mA
		VDD_SDIO power domain <sup>1, 3</sup>	-	20	-	mA

Hình 56 Mức điện áp logic ESP32

### Phụ lục B: Bảng mô tả hoạt động của các chân trong ADE7753

Bảng phụ lục 3: Mô tả hoạt động của các chân ADE7753

Chân số	Ký hiệu	Mô tả
1	RESET	Thiết lập lại ADE7753.
2	DVDD	Nguồn mạch số, chân này sẽ cung cấp nguồn cho các mạch số trong ADE7753. Điện áp cần được duy trì ở mức $5\text{ V} \pm 5\%$ . Chân AVDD được tách riêng với DGND qua hai tụ điện mắc song song là tụ 10 $\mu\text{F}$ và tụ gốm 100 $\mu\text{F}$ .

3	AVDD	Nguồn mạch tương tự, chân này cung cấp điện áp tương tự cho các mạch tương tự trong ADE7753. Điện áp cần được duy trì ở mức $5V \pm 5\%$ . Chân AVDD được tách riêng với DGND qua hai tụ điện mắc song song là tụ $10\mu F$ và tụ gốm $100\mu F$ .
4,5	V1P, V1N	Tín hiệu tương tự sẽ vào bởi kênh 1. Kênh được thiết kế để sử dụng với bộ chuyển đổi dòng $di/dt$ (như cuộn Rogowski), cảm biến dòng (ví dụ Shunt) hoặc biến áp dòng CT.
6,7	V2P, V2N	Tín hiệu tương tự sẽ vào kênh 2. Kênh 2 được thiết kế để sử dụng cho bộ chuyển đổi điện áp. Tín hiệu đầu vào lớn nhất là $\pm 0,5V$ , có thể chịu được quá điện áp là $\pm 6V$ .
8	AGND	Đất tương tự, chân này cung cấp cho sự so áp của tất cả các mạch tương tự bên trong ADE7753 như ADCs. Chống xung răng cưa của bộ lọc, bộ biến dòng, và điện áp.
9	REF <sub>IN/OUT</sub>	Tham chiếu điện áp trên chip, các giá trị điện áp trên Chip là $2,4V \pm 8\%$ và giá trị nhiệt độ là $30 \text{ ppm}/^{\circ}C$ . Một số nguồn bên ngoài cũng so áp ở chân này. Trong cả 2 trường hợp, chân này cần được tách riêng để nối với tụ $1\mu F$ .
10	DGND	Đất số, chân này cung cấp sự so sánh cho các mạch số bên trong ADE7753 như bộ chân, bộ lọc, và bộ chuyển đổi tần số. Bởi vì dòng điện số trong ADE7753 là rất nhỏ. Tuy nhiên các điện dung cao trên chân DOUT có thể dẫn đến tín hiệu số bị nhiễu, làm ảnh hưởng đến sự so sánh.
11	CF	Tần số đầu ra mức logic. Chân CF cung cấp thông tin về công suất hiệu dụng. Các tần số ra sẽ được điều chỉnh bởi CSDEN và CFNUM.
12	ZX	Đầu ra giao cắt điểm 0 dạng sóng kênh 2.



13	SAG	Đầu ra logic cổng hở này hoạt động ở mức thấp khi không phát hiện thấy điểm giao nhau bằng không hoặc ngưỡng điện áp thấp (Kênh 2) bị vượt qua trong một khoảng thời gian xác định
14	IRQ	Chân ngắt.
15	CLKIN	Xung đồng hồ ngõ vào cho ADCs và quá trình điều chế tín hiệu số. Xung đồng hồ là 3.579545 MHz. Dung 2 tụ điện cho mạch là 22 <sub>p</sub> F và 33 <sub>p</sub> F.
16	CLKOUT	Cung cấp xung đồng hồ cho ADE7753. Có thể dung một tải CMOS.
17	CS	Chọn Chip. Dung giao diện 4 dây nối tiếp SPI. ADE7753 sẽ hoạt động với đầu vào là mức thấp.
18	SCLK	Xung đầu vào đồng bộ. Tất cả dữ liệu truyền nối tiếp được quản lý bởi đầu xung này.
19	DOUT	Dữ liệu đầu ra, dữ liệu được chuyển khi sườn lên của SCLK tác động. Trường hợp trở kháng cao, sẽ xuất ra mức logic thông thường.
20	DIN	Dữ liệu đầu vào, dữ liệu được chuyển khi sườn xuống của SCLK tác động.

### Phụ lục C: Các thanh ghi của ADE7753

Bảng phụ lục 4: Mô tả các thanh ghi trong ADE7753

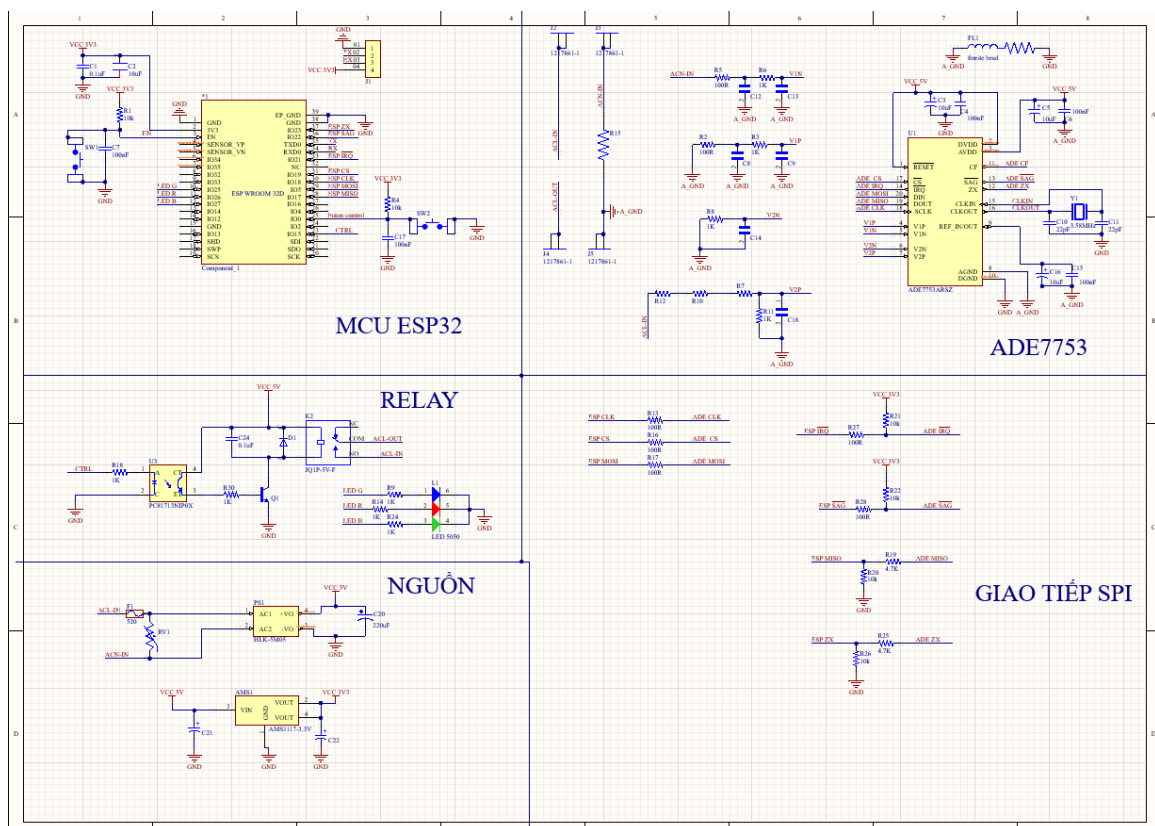
Địa chỉ	Ký hiệu	R/W	Giá trị mặc định	Số bit	Tên
0x01	WAVEFORM	R	0x0	24	Thanh ghi giá trị tức thời của kênh 1, kênh 2 và công suất tác dụng.
0x02	AENERGY	R	0x0	24	Thanh ghi năng lượng tác dụng

0x03	RAENERGY	R	0x0	24	Thanh ghi năng lượng tác dụng (bị reset về 0 khi đọc)
0x04	LAENERGY	R	0x0	24	Thanh ghi năng lượng tác dụng ở chế độ tích lũy theo chu kỳ
0x05	VAENERGY	R	0x0	24	Thanh ghi năng lượng biểu kiến
0x06	RVAENERGY	R	0x0	24	Thanh ghi năng lượng biểu kiến (reset về 0 khi được đọc)
0x07	LVAENERGY	R	0x0	24	Thanh ghi năng lượng biểu kiến ở chế độ tích lũy theo chu kỳ
0x08	LVARENERGY	R	0x0	24	Thanh ghi năng lượng phản kháng ở chế độ tích lũy theo chu kỳ.
0x09	MODE	R/W	0x000C	16	Thanh ghi chế độ
0x0A	IRQEN	R/W	0x40	16	Thanh ghi cho phép ngắt
0x0B	STATUS	R	0x0	16	Thanh ghi trạng thái ngắt
0x0C	RSTSTATUS	R	0x0	16	Thanh ghi trạng thái ngắt (reset về 0 khi được đọc)
0x0D	CH1OS	R/W	0x00	8	Thanh ghi chỉnh offset kênh 1
0x0E	CH2OS	R/W	0x0	8	Thanh ghi chỉnh offset kênh 2
0x0F	GAIN	R/W	0x0	8	Thanh ghi đặt hệ số khuếch đại PGA
0x10	PHCAL	R/W	0x0D	6	Thanh ghi hiệu chỉnh pha
0x11	APOS	R/W	0x0	16	Thanh ghi chỉnh offset công suất tác dụng

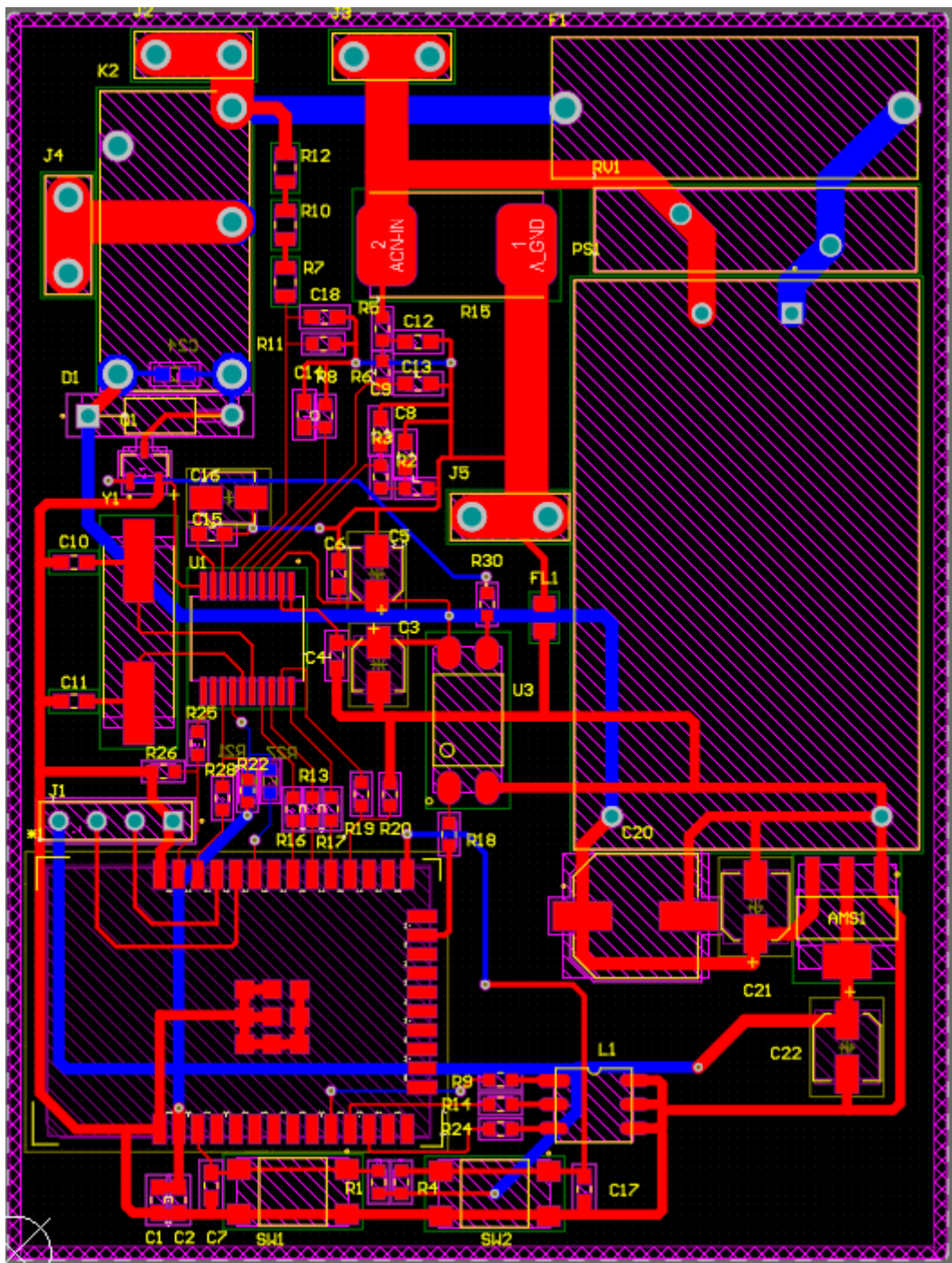
0x12	WGAIN	R/W	0x0	12	Thanh ghi hiệu chỉnh hệ số khuếch đại công suất
0x13	WDIV	R/W	0x0	8	Thanh ghi chia năng lượng tác dụng
0x14	CFNUM	R/W	0x3F	12	Thanh ghi tử số chia tần số CF
0x15	CFDEN	R/W	0x3F	12	Thanh ghi mẫu số chia tần số CF
0x16	IRMS	R	0x0	24	Thanh ghi giá trị hiệu dụng (RMS) kênh 1 (dòng điện)
0x17	VRMS	R	0x0	24	Thanh ghi giá trị hiệu dụng (RMS) kênh 2 (điện áp)
0x18	IRMSOS	R/W	0x0	12	Thanh ghi hiệu chỉnh offset cho giá trị hiệu dụng kênh 1
0x19	VRMSOS	R/W	0x0	12	Thanh ghi hiệu chỉnh offset cho giá trị hiệu dụng kênh 2
0x1A	VAGAIN	R/W	0x0	12	Thanh ghi hệ số khuếch đại công suất biểu kiến
0x1B	VADIV	R/W	0x0	8	Thanh ghi chia năng lượng biểu kiến
0x1C	LINECYC	R/W	0xFFFF	16	Thanh ghi chu kỳ chế độ năng lượng tích lũy
0x1D	ZXTOUT	R/W	0xFFF	12	Thanh ghi ZXTOUT
0x1E	SAGCYC	R/W	0xFF	8	Thanh ghi số chu kỳ điện áp sụt
0x1F	SAGLVL	R/W	0x0	8	Thanh ghi đặt mức điện áp sụt
0x20	IPKLVL	R/W	0xFF	8	Thanh ghi đặt mức ngưỡng đỉnh kênh 1

0x21	VPKLVL	R/W	0xFF	8	Thanh ghi đặt mức ngưỡng đỉnh kênh 2
0x22	IPEAK	R	0x0	24	Thanh ghi giá trị đỉnh kênh 1
0x23	RSTIPEAK	R	0x0	24	Thanh ghi giá trị đỉnh kênh 1 (reset về 0 khi được đọc)
0x24	VPEAK	R	0x0	24	Thanh ghi giá trị đỉnh kênh 2
0x25	RSTVPEAK	R	0x0	24	Thanh ghi giá trị đỉnh kênh 2 (reset về 0 khi được đọc)
0x26	TEMP	R	0x0	8	Thanh ghi nhiệt độ
0x27	PERIOD	R	0x0	16	Thanh ghi chu kỳ
0x3D	TMODE	R/W	-	8	Thanh ghi chế độ kiểm tra
0x3E	CHKSUM	R	0x0	6	Thanh ghi Checksum

#### Phụ Lục D: sơ đồ nguyên lý và sơ đồ di dây



Hình 57 Tổng thể sơ đồ nguyên lý



Hình 58 Sơ đồ đi dây mạch PCB